

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

**EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO FONTE DE
SILÍCIO E SUA INTERAÇÃO COM A ADUBAÇÃO
NITROGENADA EM *Brachiaria brizantha***

Ivana Machado Fonseca

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 a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2007

F676e Fonseca, Ivana Machado
Efeito da escória de siderurgia como fonte de silício e sua
interação com a adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha* /
Ivana Machado Fonseca. -- Jaboticabal, 2007
viii, 79 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: José Carlos Barbosa, Takashi Muroaka
Bibliografia

1. Capim-marandu. 2. Silicatos de cálcio e magnésio. 3. Resíduo
siderúrgico. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.452:631.811

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

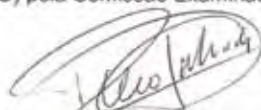
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO FONTE DE SILÍCIO
E SUA INTERAÇÃO COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM *Brachiaria*
brizantha

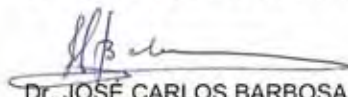
AUTORA: IVANA MACHADO FONSECA

ORIENTADOR: Dr. RENATO DE MELLO PRADO

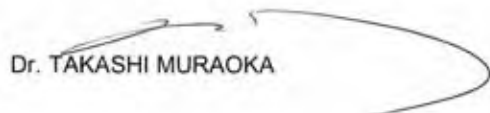
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO) pela Comissão Examinadora:



Dr. RENATO DE MELLO PRADO



Dr. JOSÉ CARLOS BARBOSA



Dr. TAKASHI MURAOKA

Data da realização: 27 de julho de 2007.



Presidente da Comissão Examinadora
Dr. RENATO DE MELLO PRADO

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

IVANA MACHADO FONSECA, nascida em Montes Claros – MG no dia 22 de dezembro de 1980, possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Montes Claros (2002) e graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004), onde foi bolsista de Iniciação Científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PIBIC/CNPq). Recebeu dois prêmios de apresentação de trabalhos de iniciação científica. Realizou estágio na Embrapa Cerrados, entre outras atividades de pesquisa, extensão e ensino. Foi trainee corporativo da empresa Sadia S.A. no período de 2004 a 2006. Em março de 2006 iniciou o curso de mestrado pelo Programa de Ciência do Solo na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal. Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), desenvolvendo pesquisa na área de Fertilidade do Solo e Qualidade Ambiental, na linha de pesquisa Nutrição e Adubação de Plantas. Obteve seu título de Mestre em Agronomia “Ciência do Solo” em 27 de julho de 2007.

*Aos meus amados pais, Raimundo José da
Fonseca e Nelma Machado Fonseca, pelos
ensinamentos, dedicação, apoio, e
principalmente, pelo exemplo de vida.*

*Aos meus queridos irmãos, Leandro e Fernanda,
pelo amor, confiança e apoio.*

*A minha cunhada Fabiane pelos incentivos e aos
meus sobrinhos André e Sara, que mesmo
distantes, alegram tanto minha vida.*

OFEREÇO

*Ao Thiago pelo amor e por estar sempre
presente em minha vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde e presença eterna ao meu lado.

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

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq e a FUNDUNESP pelo suporte financeiro concedido o qual viabilizou parte expressiva desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela orientação sempre eficiente e construtiva, além do exemplo de profissionalismo.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, pela disponibilidade e ensinamentos estatísticos que muito contribuíram neste trabalho.

Aos membros das bancas examinadoras de qualificação e defesa pelas sugestões.

Ao Prof. Dr. William Natale, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da FCAV/UNESP, pela acessibilidade e atenção durante todo o curso.

Aos professores do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP, pelo apoio científico.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro da ESALQ/USP pela colaboração no empréstimo de materiais para a realização de parte das análises laboratoriais.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP, pelo apoio na realização de diferentes etapas deste trabalho.

À “irmã” de república Érica, companheira de longas horas de estudo e bons momentos de descontração, além do apoio, incentivo e compreensão.

Aos colegas de Pós-Graduação e do grupo GENPLANT, em especial a Flávia Vieira de Souza e Liliane Maria Romualdo.

À minha família e ao meu namorado, pelo amor e confiança.

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

Muito Obrigada!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	viii
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. <i>Brachiaria brizantha</i> Stapf. cv. Marandu	3
2.2. Importância do uso de materiais corretivos em forrageiras.....	4
2.3. Importância do silício no sistema solo-planta.....	7
2.4. Escória de siderurgia: fonte de silício para uso na agricultura	13
2.5. Relação silício e nitrogênio	15
III. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Local do experimento, solo e planta.....	16
3.2. Delineamento experimental, tratamentos e unidade experimental.....	17
3.3. Instalação e condução do experimento.....	18
3.4. Amostragem, preparo e análise química das plantas	20
3.5. Amostragem, preparo e análise química do solo	21
3.6. Análise estatística dos resultados	22
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Efeitos dos tratamentos nos atributos químicos do solo	23
4.1.1. Amostragem do solo após a incubação	23
4.1.2. Amostragem do solo após a colheita	28
4.2. Efeitos dos tratamentos no crescimento da <i>Brachiaria brizantha</i>	35
4.3. Efeitos dos tratamentos na nutrição da <i>Brachiaria brizantha</i>	42
4.3.1. Teores de macronutrientes e de silício	42
4.3.2. Acúmulo de macronutrientes e de silício	52
V. CONCLUSÕES.....	62
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA COMO FONTE DE SILÍCIO E SUA INTERAÇÃO COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA EM *Brachiaria brizantha*

RESUMO – A escória de siderurgia é constituída basicamente por silicato de cálcio e magnésio, sendo considerada como material corretivo da acidez do solo e como fonte de nutrientes e de silício para as plantas. Diante disso, objetivou-se avaliar os efeitos da escória de siderurgia como fonte de silício e material corretivo na presença de doses de nitrogênio nos atributos químicos do solo, no estado nutricional, no crescimento e na produção de massa seca do capim-marandu. Desenvolveu-se o estudo em casa de vegetação, na FCAV/Unesp, Campus Jaboticabal-SP, no período de dezembro/05 a julho/06, realizando dois cortes. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 3 \times 3 + 1$, sendo duas fontes de material corretivo, três doses de material corretivo (1,61, 3,22 e 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃), três doses de nitrogênio, sendo a metade, a dose e duas vezes a dose recomendada (200 mg dm⁻³) aplicados nos dois cortes das plantas, e uma testemunha absoluta, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso preenchido com 4 dm³ de terra de um Latossolo Vermelho distrófico textura média, e quatro plantas. Verificou-se que as doses de escória aumentaram as concentrações de Si no solo e na planta, diminuindo, porém, o acúmulo de N no capim. A adubação nitrogenada associada à escória incrementou a produção de massa seca e a absorção de Si pelo capim-marandu. O uso da escória de siderurgia mostra-se adequado ao cultivo da forrageira como material corretivo da acidez do solo e fonte de silício para o capim-marandu.

Palavras-chave: adubação silicatada, adubo N, capim-marandu, calcário, resíduo siderúrgico, silicatos de cálcio e de magnésio

EFFECT OF SLAG AS SOURCE OF SILICON AND INTERACTION WITH THE NITROGEN FERTILIZATION IN *Brachiaria brizantha*

SUMMARY – The slag is constituted basically by calcium and magnesium silicate, being considered as neutralizing material of the soil acidity and as source of nutrients and of silicon for the plants. This research was carried out in greenhouse conditions with the objective to evaluate the effects of the slag plus nitrogen on the chemical attributes of the soil, nutritional state, growth and dry matter production of the marandu palisadegrass (*Brachiaria brizantha*). The experiment was conducted in São Paulo State University - UNESP, Brazil, during December/05 the July/06 period, when the grasses were cut twice. The experimental design was a randomized blocks with treatments organized in 2x3x3+1 in factorial scheme (two types of corrective material, three corrective material rates, three nitrogen rates plus a control treatment), with four replications. The experimental units were pots filled with 4 dm³ of medium texture Oxisol with four plants. The slag rates increased the soil and plant silicon contents. However, decreased the plant nitrogen contents. The nitrogen fertilization plus slag increased dry matter production and plant silicon contents. The slag was adequate as corrective material of the acidity of the soil and as silicon source to marandu palisadegrass.

Keywords: Si fertilization, fertilizer N, marandu palisadegrass, lime, siderurgical residue, calcium and magnesium silicate

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, as rochas carbonatadas moídas, genericamente denominadas calcários, são os materiais predominantemente empregados na agricultura como corretivo da acidez do solo. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, sendo o mais promissor as escórias de siderurgias (PRADO, 2000), que apesar de estarem disponíveis no mercado brasileiro, têm sido pouco comercializadas para uso na agricultura (QUAGGIO, 2000).

A escória é um resíduo da indústria do aço e ferro-gusa, constituída basicamente de silicato de cálcio e de magnésio $[(Ca,Mg)SiO_3]$ (AMARAL et al., 1994), o que lhe confere propriedade corretiva da acidez do solo semelhante à do calcário (RIBEIRO et al., 1986), além de apresentar em sua composição o silício e diversos micronutrientes (PRADO & FERNANDES, 2001a), e ainda, por ser um material renovável, tem ampla aplicação na agricultura o que diminui o acúmulo de resíduo próximo às indústrias siderúrgicas contribuindo para preservação ambiental.

A maioria das pesquisas desenvolvidas no Brasil com escória avaliou, predominantemente, seu efeito corretivo e como fonte de alguns nutrientes presentes na sua composição (GOMES et al., 1965; FORTES, 1993; PIAU, 1995). Assim, foram realizadas pesquisas nas culturas do milho e sorgo (PIAU, 1995), alface (PRADO et al., 2002a; AMARAL et al., 1994), cana-de-açúcar (PRADO & FERNANDES, 2001a), goiaba (PRADO et al., 2003), tomate (LANA et al., 2003) e maracujá (PRADO & NATALE, 2004). Por outro lado, existem indicações dos efeitos benéficos do silício na produção de algumas culturas como as gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milho, milheto e trigo) e algumas espécies não gramíneas (alfafa, feijão, soja, tomate, alface e repolho) (KORNDÖRFER & DATNOFF, 1995).

Salienta-se que o silício, como elemento benéfico, é importante para as plantas, pois, confere maior resistência ao acamamento e maior taxa fotossintética devida à melhoria da arquitetura foliar (KORNDÖRFER et al., 2002), além de diminuir o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989).

Entretanto, ainda são escassos os 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-PUPATTO et al., 2004). O mesmo se aplica quanto às informações sobre a interação do silício com outros nutrientes a exemplo do nitrogênio (MAUAD et al., 2003). Portanto, especificamente em forrageiras, estudos com a escória de siderurgia como fonte de Si e sua relação com a adubação nitrogenada, são ausentes no Brasil.

Diante deste contexto, objetivou-se estudar os efeitos da escória de siderurgia em presença de doses de nitrogênio, nos atributos químicos do solo, no estado nutricional, no crescimento e na produção de massa seca do capim-marandu (*Brachiaria brizantha*).

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu

No Brasil, dos aproximadamente 180 milhões de hectares de pastagem cultivadas e nativas, cerca de 70-80% são formados por espécies do gênero *Brachiaria*, sendo a maior área localizada no centro-oeste (VALLE et al., 2001). Segundo MACEDO (1995), a espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu ocupa uma área de 9,6 milhões de hectares, que corresponde a cerca de 20% da área ocupada por pastagens cultivadas.

A *Brachiaria brizantha* é originária de uma região vulcânica da África, onde os solos normalmente apresentam fertilidade de média a alta, com precipitação pluviométrica anual ao redor de 700 mm e cerca de oito meses de seca no inverno (RAYMAN, 1983). Entretanto, apresenta ainda, ampla adaptação climática até 3.000 m de altitude, temperatura ideal de crescimento entre 30 a 35°C e mínima de 15°C (SKERMAN & RIVEROS, 1990), característica agrônômica de alta produção de forragem e persistência, boa capacidade de rebrota e tolerância ao frio e à seca (PORZECANSKI et al., 1979).

Segundo NUNES et al. (1985), a *Brachiaria brizantha* foi incluída no processo de avaliação de plantas forrageiras da EMBRAPA/CNPQC, Campo Grande-MS, em 1977, sendo, posteriormente, estudada pela EMBRAPA/CPAC, Planaltina-DF, que após anos de estudos e avaliações, lança em 1984, em nível nacional, a cultivar marandu como mais uma opção de forrageira para a diversificação das áreas de pastagens. O nome marandu significa novidade no idioma guarani, correspondendo uma nova alternativa, principalmente, para a região dos cerrados.

A cultivar marandu é diferenciada dos outros ecotipos de *B. brizantha*, pela associação obrigatória das seguintes características: planta sempre robusta e com intenso perfilhamento nos nós superiores dos colmos floríferos; presença de pêlos na porção apical dos entrenós; bainhas pilosas e lâminas largas e longas com pubescência apenas na face inferior, glabra na face superior e com margens não cortantes, raque

sem pigmentação arroxeadada e espiguetas ciliadas no ápice (VALLS & SENDULSKY, 1984).

Quanto ao potencial produtivo, esta gramínea apresenta elevada produção de massa verde e responde bem às adubações, atingindo até 36 t ha⁻¹ de massa seca por ano (GHISI & PEDREIRA, 1987). Sendo assim, dentre as várias opções de braquiárias, a cultivar marandu tem sido apontada como a mais promissora devido a sua alta capacidade produtiva.

2.2. Importância do uso de materiais corretivos em forrageiras

Geralmente, os solos tropicais são ácidos devido à lixiviação de bases trocáveis resultante dos altos índices de precipitação pluviométrica (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 hidrogênio.

Apesar de não ser o único responsável pela acidez do solo, os íons hidrogênios exercem influência direta na solubilidade dos nutrientes. A remoção de cátions trocáveis exige a substituição dos mesmos para satisfazer o equilíbrio de cargas entre fase sólida e os próprios íons trocáveis. Quando nestes se inclui o hidrogênio, a acidificação inicia-se e acentua-se à medida que mais hidrogênio é adsorvido pelo solo (MELO, 1984).

A toxicidade do alumínio 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.

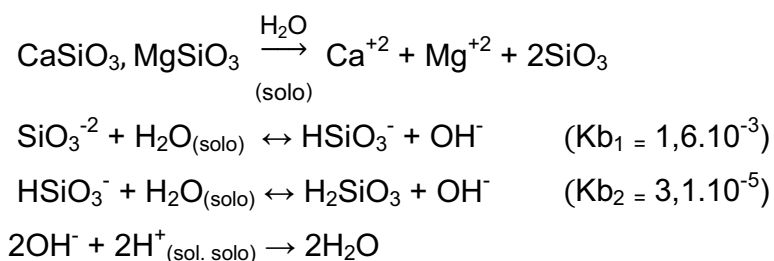
A baixa fertilidade encontrada na maioria dos solos das regiões tropicais, torna-se um fator limitante na produtividade para maioria das culturas no Brasil, incluindo as forrageiras. De modo geral, as plantas forrageiras apresentam diferentes graus de tolerância à acidez do solo e os capins do gênero *Brachiaria* estão entre os mais

tolerantes e os mais persistentes nas condições de solo ácido comuns na região central do Brasil (SIQUEIRA, 1986).

Segundo ZIMMER et al. (1994), as pastagens degradadas de braquiárias atingem cerca de 40 milhões de hectares do território brasileiro. Restaurar estas áreas deve-se tornar uma estratégia, pela importância econômica dos agrossistemas, e para sua preservação; logo, melhoria da fertilidade do solo através da calagem e adubação, tornam-se práticas necessárias para recuperação destas pastagens.

WERNER et al. (1997) indicam como adequada a saturação por bases (V) do solo igual a 60% para o período de formação ou 50% para a manutenção das forrageiras *Brachiaria brizantha*, *Andropogon gayanus* e *Cynodon plectostachyus*. Na literatura, os trabalhos de pesquisa sobre os efeitos da calagem na produção de braquiárias, verificou-se que a adequada saturação por bases, em condições de vaso, foi de 43% (PREMAZZI, 1991); 70% (CRUZ et al., 1994); 50% (ROSSI et al., 1997). Esses efeitos positivos da calagem nas forrageiras ocorreram devido a diversos fatores além da elevação do valor do pH e da neutralização do alumínio e manganês tóxicos às plantas, como por exemplo, a diminuição da adsorção do fósforo no solo, e o fornecimento de cálcio e magnésio como nutrientes, resultando em maior volume do solo a ser explorado pelo sistema radicular e, conseqüentemente, maior produção da parte aérea, conseqüentemente, melhor qualidade da forrageira (VITTI & LUZ, 1997).

PRADO (2000) cita as escórias siderúrgicas como materiais corretivos alternativos porque apresentam o ânion silicato que neutraliza a acidez do solo. Segundo ALCARDE (1992), a ação neutralizante do silicato pode ser explicada de acordo com as seguintes equações:



Entretanto, para avaliar o potencial da escória de siderurgia, comparando-a ao calcário a fim de ser empregado em plantas forrageiras, 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 Latossolos.

PRADO & FERNANDES (2001b) também mostraram similaridade da escória de siderurgia em relação ao calcário, incorporados 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, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade.

Existem muitas vantagens no uso da escória de siderurgia, como por exemplo, seu efeito residual que dispensa aplicações anuais, uma vez que, em adição, este efeito residual pode reduzir, consideravelmente, as doses subseqüentes do corretivo, após o primeiro tratamento (DATNOFF et al., 1997). Este fato, torna-se importante em sistemas de produção de plantas perenes como as forrageiras que impossibilitam a aplicação e incorporação do material corretivo no solo, o que também não é aconselhável, uma vez que, pode danificar o sistema radicular das plantas.

No Hawaí, KHALID et al. (1978) aplicaram silicato em diferentes condições de acidez do solo (pH = 5,5; 6,0 e 6,5) em sistema de rotação de culturas (cana-de-açúcar, milho e capim-desmodium). Os autores constataram que houve efeito residual significativo do silicato no solo (teores de Si), após 56 meses, sendo maior na dose mais elevada.

É possível que esse maior efeito residual dos silicatos no solo, com o uso da escória siderúrgica, seja devido a um equilíbrio químico, ou seja, com a solubilização da escória, obtém-se incremento inicial do valor do pH e da concentração de Ca. Esse aumento pressupõe decréscimos na dissolução da escória, uma vez que a solubilidade desse material em solução aquosa diminui com o aumento do pH e da concentração de Ca na solução (KATO & OWA, 1996).

2.3. Importância do silício no sistema solo-planta

a) Aspectos gerais: o ciclo do silício

O ácido monossilícico [H_4SiO_4 ou $\text{Si}(\text{OH})_4$], também denominado de ácido ortossilícico ou simplesmente ácido silícico, ocorre na solução do solo, nas águas doces e oceanos de todo o mundo. Em pH próximo da neutralidade, o ácido silícico tem solubilidade de 2 mM. Acima desta concentração ocorre policondensação, produzindo ácido silícico oligomérico e, eventualmente, partículas coloidais de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). A dissolução e deposição de sílica em água podem ser representadas como: $(\text{SiO}_2)_x + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow (\text{SiO}_2)_{x-1} + \text{Si}(\text{OH})_4$. A reação para a direita ocorre em condições de hidratação, e para a esquerda em condições de desidratação (BIRCHALL, 1995).

Da mesma maneira como ocorre com o P, Ca e Mg, o ciclo do Si possui um elevado dreno abiótico, impedindo uma alta abundância na biosfera. Um dos drenos abióticos no solo é a reação do ácido silícico com o Al, formando hidroxialuminossilicatos (HAS). Os HAS podem ser considerados como precursores amorfos da imogolita, um aluminossilicato mineral encontrado em diferentes tipos de solos. A condensação de ácido silícico e a polimerização subsequente, formando a sílica biogênica, representa uma perda elevada de ácido silícico da biosfera (EXLEY, 1998).

LIMA FILHO et al. (1999) relatam que 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 Si pode se tornar economicamente importante. Em solos utilizados intensivamente, principalmente, com culturas acumuladoras de Si, podem tornar-se, ao longo do tempo, deficientes, pois, a exportação do Si não é compensada com a fertilização silicatada.

A Figura 1 mostra, resumidamente, o ciclo biogeoquímico do Si. Este ciclo inclui os processos que ligam fontes e drenos do ácido silícico, o qual é o único precursor

conhecido na produção e deposição de Si na biota (EXLEY, 1998). A fração sedimentar do ciclo inclui o material acumulado, cuja dissolução ocorre lentamente. O ciclo do Si, na realidade, é duplo, compreendendo os ciclos terrestre e marinho. O ciclo terrestre, que inclui as águas doces, alimenta o ciclo marinho. Os rios, contendo um valor médio de 0,15 mM de Si, contribuem com cerca de 80% do Si dissolvido que flui para os oceanos, totalizando $6,1 \pm 2 \times 10^{12}$ moles por ano (TRÉGUER et al., 1995).

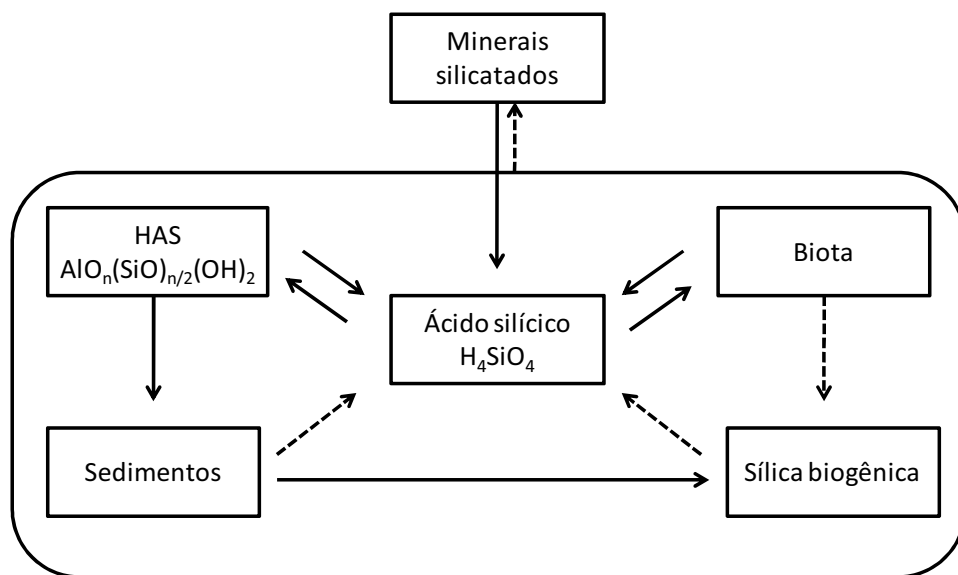


Figura 1. Ciclo biogeoquímico do Si que ocorre nos oceanos e nas massas continentais. Setas pontilhadas indicam taxas de trocas mais lentas entre os compartimentos. HAS = hidroxialuminossilicatos (adaptada de EXLEY, 1998).

b) Silício no solo

Sabe-se que o Si é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo, principalmente, no mineral inerte das areias, o quartzo (SiO₂), bem como na caulinita e outros minerais de argila. Os solos do cerrado brasileiro, em geral, profundamente intemperizados e lixiviados, com acentuada dessilicatação e pobreza em bases, conferem uma fração argilosa essencialmente constituída de caulinita e sesquióxidos, com baixa relação molecular SiO₂/Al₂O₃ (relação Ki), algumas vezes inferior a 0,5 (EMBRAPA, 1982).

Segundo LIMA FILHO et al., (1999), as principais formas de incremento do Si na solução do solo seriam: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silício polimérico, liberação do Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação. Já, em se tratando dos principais drenos do Si, SAVANT et al. (1997) indicaram: a precipitação do Si em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas (Figura 2).

Do ponto de vista agrônomo, uma das formas principais do Si presente no solo é o ácido monossilícico (H_4SiO_4), que se encontra em sua maior parte na forma não dissociada ($\text{pK}_1 = 9,6$) (RAVEN, 1983; WERNER & ROTH, 1983; WILD, 1988).

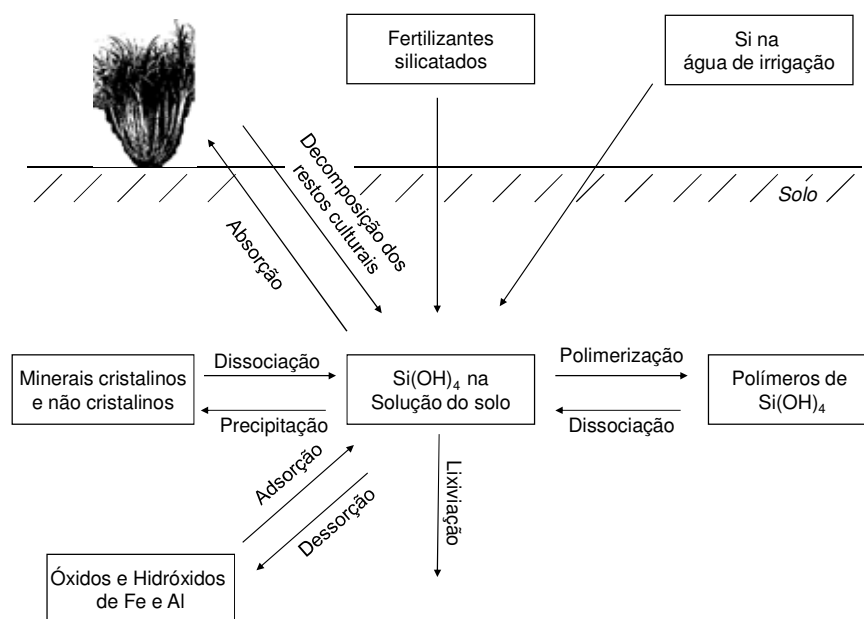


Figura 2. Transformações e processos mais importantes que influenciam a concentração de Si na solução do solo (SAVANT et al., 1997).

RAIJ & CAMARGO (1973) verificaram em solos de diferentes textura e idade do estado de São Paulo, que os menores valores de Si solúvel ocorreram no Latossolo textura média e os maiores valores num Argissolo. Isto se deve à reduzida porcentagem

de argila neste Latossolo, aliada a menor superfície específica total em relação ao Argissolo menos intemperizado e mais argiloso. Esses autores encontraram teores de Si extraível com CaCl_2 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$, variando de 1 a 43 mg dm^{-3} . Para os solos com os mesmos teores de argila, os teores de Si solúvel foram maiores nos solos com horizonte B textural do que nos solos com horizonte B latossólico.

KORNDÖRFER et al. (1999) observaram em diferentes solos do estado de Minas Gerais concentrações de 9,0, 7,0, 10,0 e $3,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de Si disponível (extrator cloreto de cálcio $0,0025 \text{ mol.L}^{-1}$) para Latossolo Roxo distrófico, Latossolo Vermelho-Escuro álico, Latossolo Vermelho-Amarelo álico e Areia Quartzosa álica, respectivamente.

Segundo KORNDÖRFER et al. (2002), em geral, há necessidade de adubação com Si quando a concentração no solo é inferior a 20 mg dm^{-3} (em ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$). Esses mesmos autores reconhecem que, a calibração da análise do solo para o Si, depende da cultura, pois, há plantas que apresentam maior capacidade de acumulação de Si como o arroz, a cana, o trigo, o sorgo e as gramíneas em geral, tendendo a apresentar melhor resposta à aplicação de silicatos. Salienta-se, ainda, que cultivos sucessivos também podem reduzir o nível desse elemento no solo.

Assim, os níveis críticos de Si no solo, em relação a algumas espécies de plantas, estão sendo, atualmente, estabelecidos no Brasil, usando-se como extratores de Si “disponível” no solo, o ácido acético e o cloreto de cálcio (KORNDÖRFER et al., 1999, 2001).

c) Silício na planta

O silício é conhecido por estar presente em várias gramíneas (LANNING & ELEUTERIUS, 1985). A forma solúvel de Si “disponível” para a absorção pelas plantas é o ácido monossilícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ (McKEAGUE & CLINE, 1963).

A absorção do silício da solução do solo dá-se de forma passiva por gramíneas, e o caminhamento no solo ocorre por fluxo de massa até atingir a superfície das raízes (RAVEN, 1983). As plantas dicotiledôneas, por outro lado, apresentam mecanismos que evitam a absorção de quantidades elevadas de silício (RAIJ, 1991).

Segundo MIYAKE (1992), o teor de silício na massa seca permite dividir as plantas superiores em três grupos: acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras. As acumuladoras apresentam teor de SiO_2 entre 100 a 150 g kg^{-1} , as intermediárias, 10 a 50 g kg^{-1} e, as não acumuladoras, teores menores que 5 g kg^{-1} . As gramíneas são acumuladoras típicas, nas quais os teores de silício atingem de 10 a 20 vezes mais do que em dicotiledôneas.

Dentre as gramíneas com maior capacidade de absorção de silício estão: arroz, cana-de-açúcar, milho, aveia, trigo e milho (LANA et al., 2003). Assim, o silício é considerado elemento benéfico incrementando o crescimento e a produtividade dessas culturas (ELAWAD & GREEN JÚNIOR, 1979; ANDERSON, 1991).

O incremento na produção das culturas com aplicação do Si pode ser explicado pelo benefício desse elemento em diversos processos fisiológicos das plantas, conforme destacado por TAKAHASHI (1995) (Figura 3).

De acordo com LIMA FILHO et al. (1999), com o suprimento de Si na cultura do arroz, a diferença no comprimento das lâminas foliares, principal fator responsável pela altura, tende a aumentar conforme o desenvolvimento das plantas. A maior expansão foliar determina maior taxa de assimilação de CO_2 por planta. Com isso, há maior translocação de assimilados para a produção de grãos, aumentando a produtividade.

Segundo EPSTEIN (1994), o silício incrementa o crescimento e produção de biomassa de um grande número de plantas (a maioria monocotiledôneas), por prover rigidez para as estruturas das plantas. Pode também reduzir a toxicidade por metais pesados, aliviar desbalanços entre nutrientes e resistência para o estresse por salinidade (HODSON & EVANS, 1995), além de produzir efeitos benéficos contra a toxidez por alumínio (TISDALE et al., 1993).

Em cana de açúcar, há evidência que o Si promova, também, a filtração dos raios solares, desempenhando um importante papel na proteção de folhas aos danos da radiação ultravioleta (TISDALE et al., 1993). Com isso, o silício tem demonstrado capacidade de diminuir o estresse abiótico das plantas.

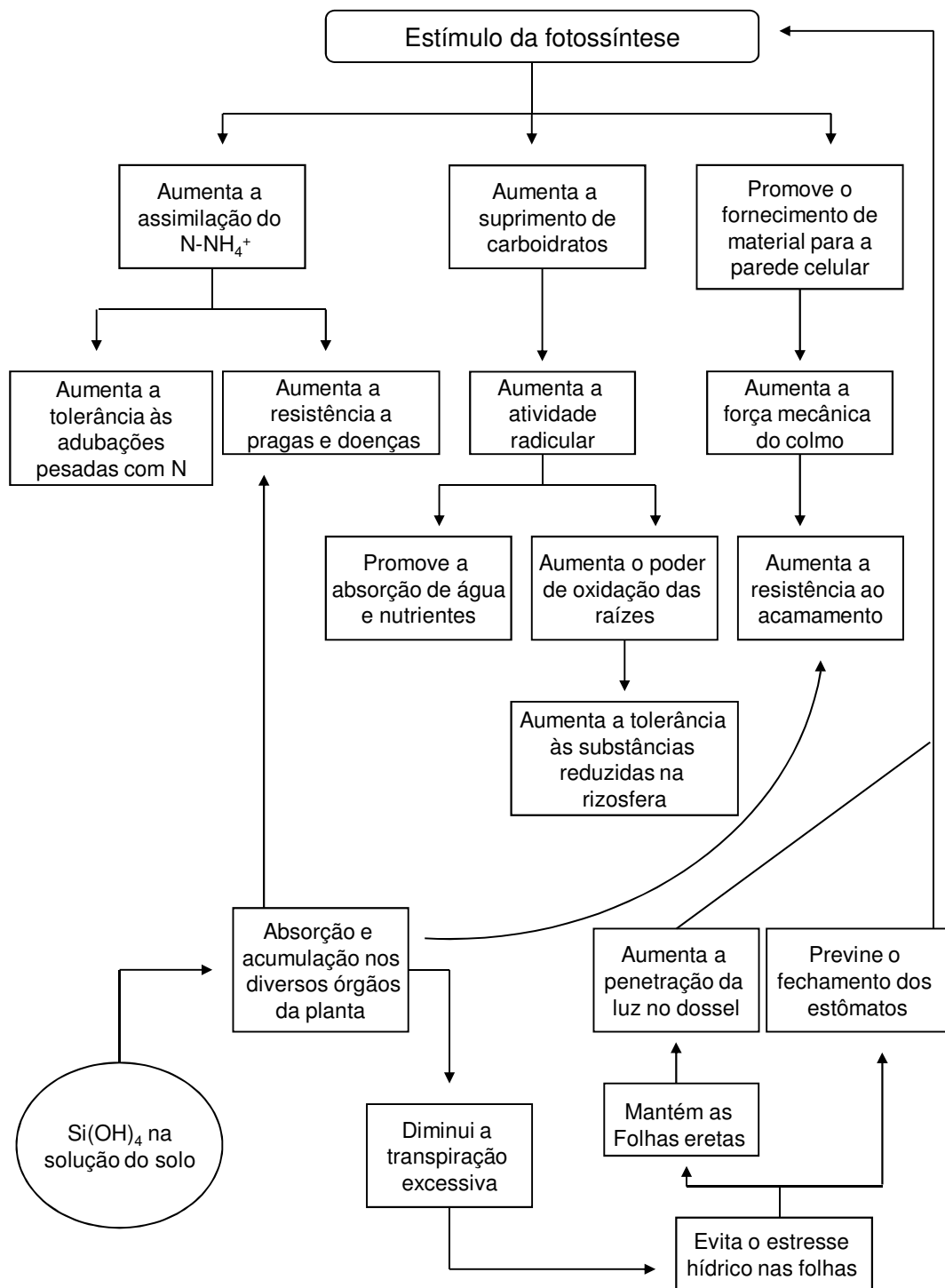


Figura 3. Papel fisiológico do Si em arroz (TAKAHASHI, 1995).

Vários trabalhos demonstram a importância do Si para diversas culturas, onde relacionam a presença do Si na planta com resistência às pragas e às doenças, maior capacidade fotossintética e tolerância à falta de água e a concentrações elevadas de Fe, Mn (SNYDER et al., 1986; DEREN et al., 1994).

Embora não seja considerado elemento essencial, a aplicação de Si na cana-de-açúcar, leva a incrementos na sua produção (RAID et al., 1992), reduzindo a taxa de senescência foliar, de forma que as folhas ficam fotossinteticamente ativas por mais tempo (PRADO & FERNANDES, 2000). Já a aplicação do calcário não tem esse efeito por não apresentar silício “disponível” em sua composição.

Investigações sobre as respostas das plantas à aplicação de Si estão largamente restritos às culturas como arroz e cana-de-açúcar, entretanto, existem poucas pesquisas em plantas forrageiras.

2.4. Escória de siderurgia: fonte de silício para uso na agricultura

Em geral, os materiais utilizados como fonte de Si para as plantas são: escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar em fornos elétricos, metassilicato de cálcio, metassilicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio (serpentinóis) e silicato de cálcio (KORNDÖRFER et al., 2002).

As escórias de siderurgia do ferro ou do aço são originárias do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400 °C, da reação do calcário com a sílica (SiO₂) presente no minério de ferro. O material fundido é resfriado ao ar ou na água, depois é secado e moído. Para cada 4 toneladas de ferro-gusa produzidas, é gerada, em média, 1 tonelada de escória de alto forno (COELHO, 1998). As escórias siderúrgicas têm sido utilizadas na agricultura para suprir as plantas com Si.

CARVALHO-PUPATTO et al. (2003) avaliaram a aplicação da escória de alto forno na cultura do arroz e verificaram incrementos nos teores de Si, no solo e na planta, à medida que se aumentaram as doses. PEREIRA et al. (2007), analisando diversos materiais como fontes de silício, observaram, também, incrementos nos teores de silício no solo e nas plantas de arroz.

Segundo PLUCKNETT (1971), a aplicação da escória de siderurgia na cana-de-açúcar promoveu maior perfilhamento e número de colmos industrializáveis devido à absorção do silício pela planta.

Estudando a aplicação da escória de siderurgia nas doses de 0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 t ha⁻¹, com granulometria de 100%, passada em peneira de 40 mesh, em dois locais da região de Everglades (Flórida - USA), ANDERSON et al. (1991) verificaram que a escória elevou o teor de Si foliar (folha +1, com nervura) aos 5 meses da emergência dos brotos e, incrementou, significativamente, a produção da cana-de-açúcar e de açúcar.

Segundo KORNDÖRFER et al. (2002), as escórias siderúrgicas consistem nas fontes de Si mais abundantes e de baixo custo de silicatos para uso na agricultura. Em seu estado original, é um material de composição química e granulométrica bastante variável, em função do tipo de processo, do minério de ferro e do sistema de forno utilizado.

Em se tratando da solubilidade do Si, as escórias de alto forno (subproduto da produção de ferro-gusa), normalmente, apresentam maiores teores de Si, mas com baixa solubilidade, enquanto que, as de aciarias (subproduto da produção de aço) apresentam menores teores de Si, porém, de maior solubilidade (KORNDÖRFER et al., 2002). As características consideradas ideais da escória como fonte de Si para fins agrícolas, resumem-se, portanto, em: alta concentração de Si solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, boa relação e quantidades de cálcio e magnésio, baixa concentração de metais pesados e baixo custo.

Porém, poucos estudos vêm sendo realizados no Brasil para verificar a viabilidade das escórias, principalmente, em razão do Si não ser considerado um elemento essencial às plantas.

2.5. Relação 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. No caso das gramíneas, a exemplo das forrageiras, apresentam elevada resposta em termos de produtividade com o uso do nitrogênio (ABREU & MONTEIRO, 1999; CORSI & NÚSSIO, 1992; GUTIÉRREZ, 1990).

ALVIM et al. (1990) compararam a produção de forragem de cinco acessos do gênero *Brachiaria* submetidos a doses de nitrogênio (0, 75 e 150 kg ha⁻¹ por ano). Na ausência de nitrogênio, o capim-marandu apresentou a menor produção anual de forragem. Entretanto, foi o mais responsivo à adubação nitrogenada, tendo maior eficiência na adubação, definida como unidades de massa seca produzidas por unidade de nutriente aplicado.

Todavia, existem relatos de que, com a maior aplicação de N, os tecidos das plantas ficam tenros, suscetíveis à penetração de agentes externos como pragas e patógenos, além do maior auto-sobremento das plantas no campo, com queda na taxa de fotossíntese (MALAVOLTA, 2006).

MALAVOLTA & FORNASIERI FILHO (1983), BARBOSA FILHO (1987) e MAUAD et al. (2003) constaram que o uso de altas doses de N na cultura do arroz, estimulou o perfilhamento e a formação de novas folhas, causando acamamento e, conseqüentemente, queda na produtividade da cultura.

Os benefícios do silício na fisiologia das plantas (Figura 3) poderão ser incrementados com níveis de nitrogênio. Assim, o efeito do Si tende a ser mais intenso em cultivos com doses altas de nitrogênio (TAKAHASHI, 1995)

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

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento, solo e planta

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp – Campus de Jaboticabal, localizada a uma altitude de 610 metros, com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W, no período de dezembro de 2005 a julho de 2006 (Figura 4).



Figura 4. Casa de vegetação utilizada para condução do experimento da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP – Campus de Jaboticabal, FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

O solo utilizado foi coletado na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no sítio Stéfani, município de Jaboticabal-SP, apresentando as seguintes características: pH (CaCl₂) = 4,2; MO = 17 g dm⁻³; P (resina) = 5 mg dm⁻³; K = 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca = 4 mmol_c dm⁻³; Mg = 2 mmol_c dm⁻³; H+Al = 58 mmol_c dm⁻³; SB (soma de bases) = 7 mmol_c dm⁻³; CTC (capacidade de troca de cátions) = 65 mmol_c dm⁻³, V (saturação por bases) = 10% e Si (CaCl₂) = 4,0 mg dm⁻³.

A planta avaliada foi a *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A.Rich) Stapf. cv. Marandu, cultivada por dois cortes consecutivos.

3.2. Delineamento experimental, tratamentos e unidade experimental

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 3 \times 3 + 1$, sendo duas fontes de material corretivo, três doses de material corretivo, três doses de nitrogênio e uma testemunha absoluta, com quatro repetições, totalizando 76 unidades experimentais (Tabela 1).

Tabela 1. Esquema da análise de variância.

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Testemunha vs. Fatorial	1
Fontes de Material Corretivo (F)	1
Doses de Materiais Corretivos (DMC)	2
Doses de Nitrogênio (N)	2
Interação F x DMC	2
Interação F x N	2
Interação DMC x N	4
Interação F x DMC x N	4
(Tratamentos)	(18)
Blocos	3
Resíduo	54
Total	75

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de plástico preenchido com 4 dm^3 de terra de um Latossolo Vermelho distrófico, textura média (EMBRAPA, 1999) e quatro plantas do capim-marandu (Figura 5).



Figura 5. Unidades experimentais compostas por vasos de plástico preenchidos com 4 dm^3 de terra de um Latossolo Vermelho distrófico, textura média. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

3.3. Instalação e condução do experimento

As fontes de material corretivo foram o calcário dolomítico (PRNT = 75,32%, RE = 87,08%, CaO = 40,23%, MgO = 5,84%, Si total = 6,8% e Si solúvel em Na₂CO₃ + NH₄NO₃ = 0,01%) e a escória de siderurgia de aciaria (PRNT = 54,18%, RE = 87,56%, CaO = 25,70%, MgO = 6,40%, Si total = 9,2% e Si solúvel em Na₂CO₃ + NH₄NO₃ = 1,9%), aplicados no experimento tal qual.

As quantidades dos materiais corretivos utilizadas foram: metade, uma vez e, duas vezes a dose indicada para elevar V a 60%, correspondentes, em equivalente CaCO₃, a 1,61; 3,22 e 6,44 t ha⁻¹, respectivamente. Para o calcário, as doses foram 2,14; 4,28 e 8,56 t ha⁻¹ e, para a escória de siderurgia, foram 2,98; 5,95 e 11,90 t ha⁻¹. Adotou-se V igual a 60%, seguindo a recomendação para implantação de pastagem de *Brachiaria brizantha* no Estado de São Paulo (WERNER et al., 1997).

Os materiais corretivos foram homogeneizados e as amostras do solo foram mantidas em incubação por 90 dias, mantendo-se a umidade a 60% da capacidade de retenção de água. A perda de umidade dos vasos foi monitorada por meio de pesagens, com correção do peso pela adição de água deionizada.

Após o período de incubação do solo com os materiais corretivos, realizou-se adubação básica aplicando-se 305 mg dm⁻³ de P na forma de superfosfato simples (granulometria fina) conforme recomendação de MESQUITA et al. (2004), e para os demais nutrientes, a recomendação seguiu as indicações de BONFIM et al. (2004) aplicando-se 200 mg dm⁻³ de K (KCl p.a.), 1,2 mg dm⁻³ de Cu (CuSO₄.5H₂O p.a.), 0,8 mg dm⁻³ de B (H₃BO₃ p.a.), 1,5 mg dm⁻³ de Fe [Fe₂(SO₄)₃.4H₂O p.a.], 3,5 mg dm⁻³ de Mn (MnCl₂.6H₂O p.a.), 0,15 mg dm⁻³ de Mo (NaMoO₄.2H₂O p.a.) e 4 mg dm⁻³ de Zn (ZnSO₄.7H₂O p.a.).

Realizou-se a semeadura do capim-marandu em 23/03/2006 e, após a emergência, foram feitos desbastes deixando quatro plantas por vaso (Figura 6). A irrigação foi feita pelo método de pesagem dos vasos, mantendo a umidade correspondente a 60% da capacidade de retenção de água, segundo a recomendação de KLUTE (1986), utilizando água deionizada.

As quantidades de nitrogênio utilizadas foram: metade, a dose e duas vezes a dose recomendada por MESQUITA et al. (2004), ou seja, 75, 150 e 300 mg dm⁻³ de N na forma de uréia. Durante o primeiro cultivo das plantas foi realizado o parcelamento do nitrogênio, parte aplicado na semeadura (40%) e o restante (60%) aos 30 dias após a semeadura. Após o primeiro corte das plantas e, passados 10 dias da emissão dos brotos, aplicaram-se, novamente, 25, 50 e 100 mg dm⁻³ de N na forma de uréia, em cobertura, conforme cada tratamento (metade, a dose e duas vezes a dose recomendada), totalizando, 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de N no fim do segundo cultivo.

Os cortes da parte aérea da forrageira foram realizados a aproximadamente 10 cm da superfície do solo, aos 48 e 96 dias após a emergência (11/05/2006 e 29/06/2006, respectivamente) (Figura 7).

Na ocasião dos cortes das plantas, avaliou-se em cada planta o número de folhas, o número de perfilhos, a altura e a área foliar, esta última obtida com o auxílio de um aparelho integrador de áreas portátil LI-COR[®] modelo LI-3000C.

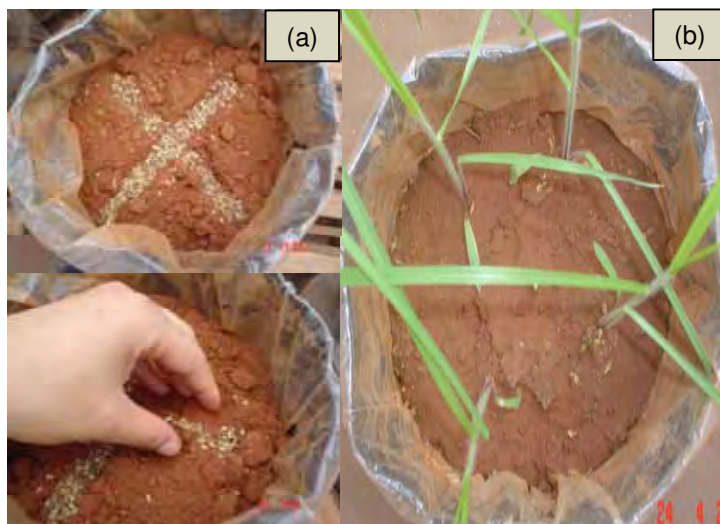


Figura 6. Práticas da semeadura e incorporação das sementes no solo (a), e unidade experimental após o desbaste das plantas (b). FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

3.4. Amostragem, preparo e análise química das plantas

A amostragem da parte aérea foi realizada a 10 cm do nível do solo, correspondendo ao tecido vegetal utilizado para diagnose foliar, segundo a indicação de WERNER et al. (1997) para as gramíneas, referindo-se à coleta das folhas que simulam o pastejo animal (somente folhas verdes e brotações novas).

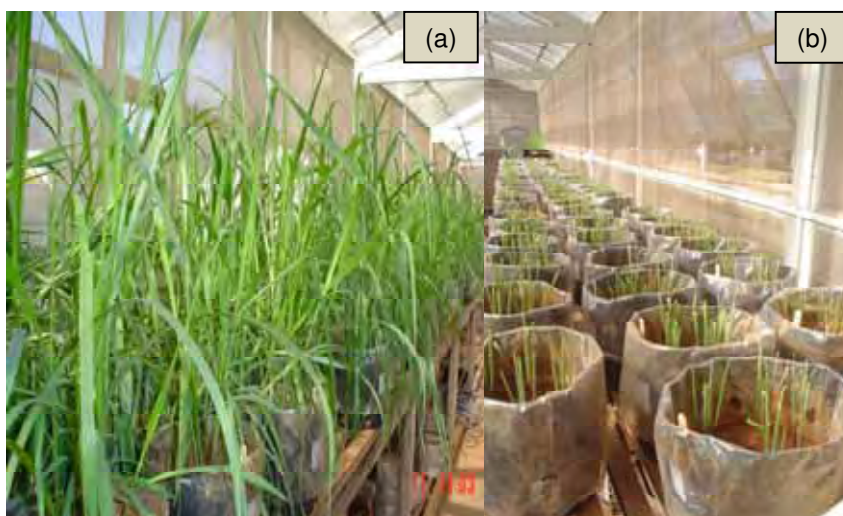


Figura 7. Vista do experimento aos 48 dias após a emergência (época do primeiro corte) (a) e após o corte das plantas de capim-marandu (b). FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

O material vegetal foi lavado em água corrente, solução de detergente (1 mL L^{-1}) e duas vezes em água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa de circulação forçada de ar ($65\text{-}70^\circ\text{C}$) durante 5 dias. Após a secagem, todo o material foi pesado para obtenção da produção de massa seca (média de quatro plantas) e, posteriormente, moído em moinho tipo Willey com peneira de 40 mesh.

Em seguida, realizou-se a análise química de macronutrientes e do Si, conforme indicações de BATAGLIA et al. (1983), sendo que, para o silício foram feitas adaptações na análise em relação ao tempo de incineração do tecido vegetal na mufla e na temperatura da secagem das cinzas com NaOH. Em linhas gerais, o procedimento adotado correspondeu às seguintes etapas: inicialmente, pesou-se amostra de $0,100 \text{ g}$ do tecido vegetal, a qual foi transferida para cadinho de níquel e incinerada a 450°C na mufla; ao esfriar, foi adicionado às cinzas 1 mL de solução de hidróxido de sódio 100 g

L^{-1} , retornando à mufla a $398\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a secagem do material; a seguir, dissolveu-se o resíduo em 10 mL de água deionizada, homogeneizou-se com bastão de teflon e, uma alíquota de 2 mL foi transferida para balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água deionizada; após a homogeneização, transferiram-se 10 mL do extrato diluído para balão volumétrico de 50 mL, adicionou-se água deionizada até um volume de 25 mL, adicionando-se, em seguida, 1 mL de solução de ácido sulfúrico $2,5\text{ mol L}^{-1}$ e 2 mL de solução de molibdato de amônio 50 g L^{-1} ; homogeneizou-se e deixou-se em repouso por 5 minutos. Em seguida, adicionou-se, nesta ordem e seguidos de agitação, 1 mL de solução de ácido oxálico 100 g L^{-1} , 3 mL de solução de ácido sulfúrico e 1 mL de solução de ácido ascórbico 20 g L^{-1} ; após, completou-se o volume com água deionizada, homogeneizou-se e procederam-se às leituras do Si nos extratos, passados 15 minutos da adição do último reagente, em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm .

3.5. Amostragem, preparo e análise química do solo

Foram realizadas amostragens de solo após o período de incubação e no fim do segundo ciclo de crescimento das plantas de capim-marandu, para análise química com fins de avaliação da fertilidade, de acordo com os métodos descritos por RAIJ et al. (2001) e, para determinação da concentração de silício “disponível” no solo seguindo a metodologia de extração proposta por KORNDÖRFER et al. (2004) a partir da relação solo-solução de 1:10, isto é, para cada 10 g de solo, foram adicionados 100 mL do extrator. A extração foi feita em frasco de plástico de 150 mL contendo 10 g de solo, onde foi adicionado 100 mL de cloreto de cálcio $0,01\text{ mol L}^{-1}$; o frasco de plástico foi tampado e agitado horizontalmente por uma hora e passados 30 minutos, filtrou-se o extrato utilizando-se papel de filtro número 42. A determinação do Si no extrato foi feita misturando aos 10 mL do extrato (filtrado/decantado), 1 mL da solução sulfo-molíbdica 75 g L^{-1} (7,5 g de molibdato de amônio + 10 mL de ácido sulfúrico 9 mol L^{-1} em 100 mL). Após 10 minutos, acrescentaram-se 2 mL da solução ácido tartárico 200 mg L^{-1} e, após 5 minutos, adicionaram-se 10 mL da solução de ácido ascórbico 3 g L^{-1} . As amostras

permaneceram em repouso por uma hora, realizando-se, posteriormente, a leitura do Si em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm (KILMER, 1965).

3.6. Análise estatística dos resultados

Com os resultados obtidos, realizou-se a análise de variância, seguindo-se da aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias das fontes de material corretivo, nos casos em que o teste F foi significativo (PIMENTEL-GOMES, 1990). Foram feitas, também, análises de regressão polinomial para as fontes e doses (ESTAT, 1994), e ajuste ao modelo de superfície de resposta de segunda ordem quando as interações doses de material corretivo e doses de nitrogênio foram significativas (SAS, 2002).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos dos tratamentos nos atributos químicos do solo

4.1.1. Amostragem do solo após a incubação

Observou-se diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha, exceto para matéria orgânica e fósforo (Tabela 2). Com a aplicação dos materiais corretivos, notou-se incremento no valor do pH, conseqüentemente, diminuição da concentração de H^+Al e aumento da concentração das bases trocáveis cálcio e magnésio. Com isso, houve incremento na saturação por bases. Entretanto, o uso dos materiais corretivos proporcionou, também, decréscimo nas concentrações de potássio no solo.

Não houve diferença entre as fontes de material corretivo para as variáveis estudadas, exceto para P, Ca e Si. Assim, os resultados indicam que o uso de calcário dolomítico ou escória de siderurgia apresentam efeitos semelhantes nos atributos químicos relacionados à acidez do solo (Tabela 2).

Para as doses de material corretivo, notou-se efeito significativo para todas as variáveis, exceto matéria orgânica. A interação das fontes e doses de material corretivo foi significativa para todas as variáveis, exceto MO e H^+Al (Tabela 2).

Pôde-se observar que o aumento das doses dos materiais corretivos promoveram incremento com ajuste linear ($P < 0,01$) nas variáveis pH, P, Ca, Mg, SB, CTC, Si (Figuras 8a, b, d, e, f, g, i) e ajuste quadrático para V% (Figura 8h). Observou-se que as doses em 5,32 e 6,44 t ha⁻¹ de $ECaCO_3$ foram as que proporcionaram maior saturação por bases para o calcário e para a escória de siderurgia, respectivamente. Com as doses de escória aplicada, observou-se aumento de V de 43 para 80%.

Cabe ressaltar que, provavelmente, a resina trocadora de íons utilizada como extrator do solo proporcionou a extração das bases catiônicas presentes nos materiais corretivos que ainda não haviam reagido no solo, superestimando valores da SB e CTC.

Tabela 2. Efeitos dos tratamentos estudados nos atributos químicos do solo após o período de 90 dias de incubação.

Fontes (F)	pH em CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	mmol _c dm ⁻³			CTC	V %	Si mg dm ⁻³
							H+Al	SB				
Calcário Dolomítico	5,4	15	5	0,6	29	12	22	42,0		63,9	61	4,20
Escória de Siderurgia	5,4	15	6	0,6	27	13	22	40,7		62,1	62	8,56
Teste F	0,37 ^{NS}	0,16 ^{NS}	33,98 ^{**}	1,25 ^{NS}	7,19 ^{**}	2,85 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,91 ^{NS}		3,20 ^{NS}	0,00 ^{NS}	781,99 ^{**}
dms (Tukey 5%)	0,10	0,69	0,34	0,04	1,72	1,25	1,21	2,57		2,00	2,45	0,33
Doses de Material												
Corretivo (DMC)												
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	4,8	15	4	0,7	13	6	29	19,6		48,1	40	5,88
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	5,4	15	5	0,6	28	11	20	39,2		59,7	65	6,55
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	5,9	15	6	0,6	44	21	16	65,2		81,2	79	6,45
Teste F	159,15 ^{**}	0,18 ^{NS}	86,08 ^{**}	3,84 [*]	449,10 ^{**}	179,29 ^{**}	146,45 ^{**}	424,50 ^{**}		378,15 ^{**}	338,61 ^{**}	63,00 ^{**}
Testemunha	4,0	16	5	0,8	3	2	47	4,8		51,8	9	4,18
Tratamentos	5,4	15	5	0,6	28	13	22	41,4		63,0	62	6,29
----- Teste F -----												
(F) X (DMC)	5,56 ^{**}	0,34 ^{NS}	22,26 ^{**}	4,08 [*]	6,56 ^{**}	11,07 ^{**}	2,55 ^{NS}	7,80 ^{**}		7,70 ^{**}	8,52 ^{**}	39,60 ^{**}
Trat. vs Test.	156,00 ^{**}	2,69 ^{NS}	1,99 ^{NS}	9,91 ^{**}	188,40 ^{**}	65,46 ^{**}	374,39 ^{**}	171,40 ^{**}		26,75 ^{**}	389,16 ^{**}	35,81 ^{**}
CV (%)	4,0	9,7	14,6	13,6	13,6	22,2	11,2	13,8		6,8	8,8	11,1

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

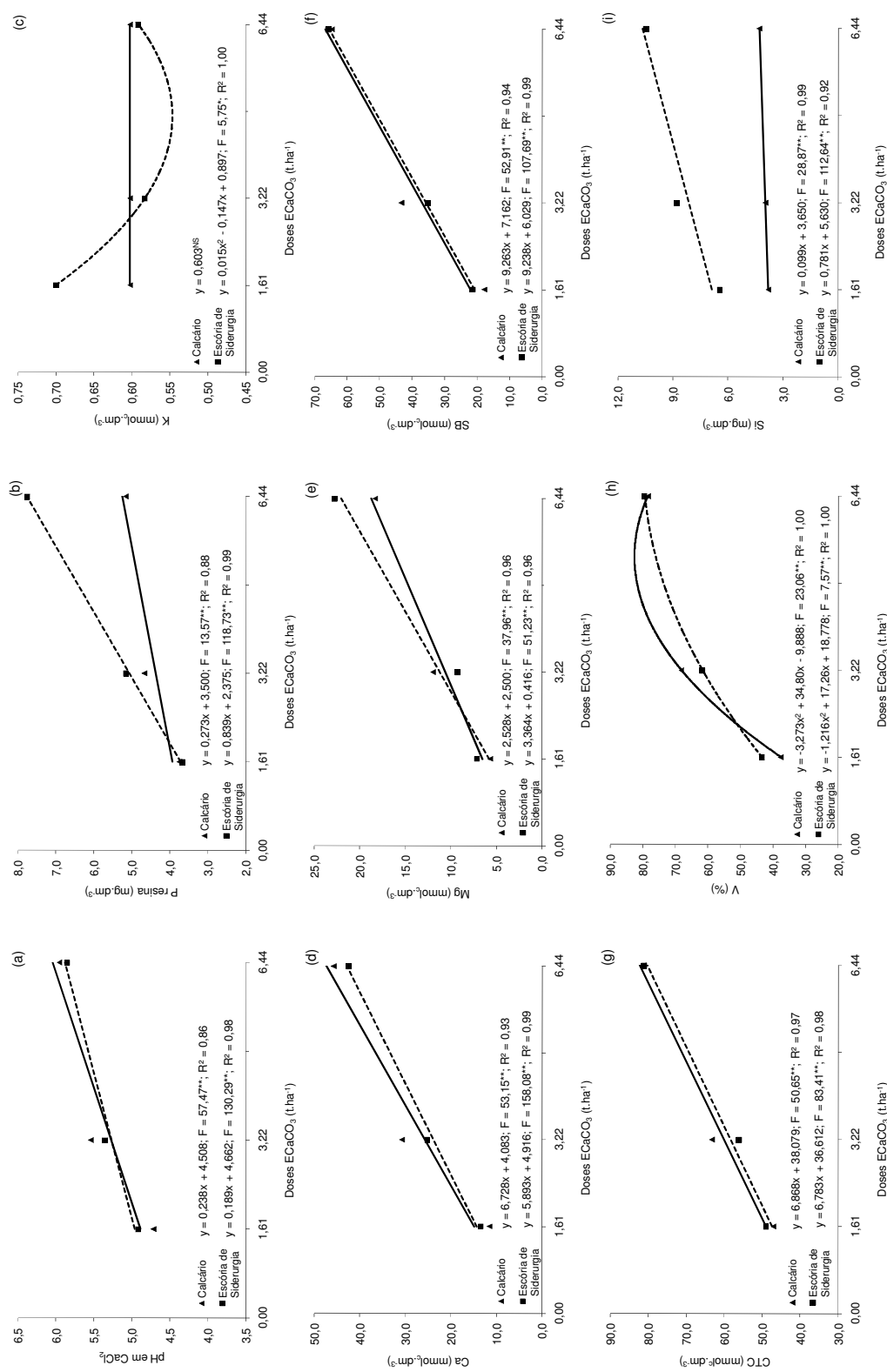


Figura 8. Efeito das doses de material corretivo (calciário e escória de siderurgia) nos atributos químicos do solo: pH (a), P (b), K (c), Ca (d), Mg (e), SB (f), CTC (g), V% (h) e Si (i), em função das doses de material corretivo, após o período de 90 dias de incubação do solo. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Como esperado, observou-se diminuição com ajuste quadrático no valor de $H+Al$ com as doses de material corretivo, independente da fonte utilizada ($H+Al = 0,827ECaCO_3^2 - 9,226 ECaCO_3 + 41,208$; $F = 25,04^{**}$; $R^2 = 1,00$). Pela equação, a dose de $6,44 \text{ t ha}^{-1}$ de $ECaCO_3$ foi a que promoveu maior neutralização da acidez potencial no solo, diminuindo de 28,50 para $16,09 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 8i). SANCHES (2003), trabalhando com dose de 6 Mg ha^{-1} de silicato de cálcio, observou redução de $H+Al$ de 40,25 para $32,03 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

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) como na forma de wollastonita (MELO, 2005). Este efeito da escória na reação do solo ocorreu pela presença da base silicato (SiO_3^{-2}) gerada pela reação das escórias no solo (ALCARDE, 1992).

Pelo coeficiente angular das retas obtidas para a concentração de P no solo em função da aplicação dos materiais corretivos, verificou-se também, que a escória de siderurgia promoveu incremento de P disponível três vezes maior que o calcário (Figura 8b). Este efeito da escória no aumento da disponibilidade de P é relatado da literatura (PRADO et al., 2002b). Segundo PRADO & FERNANDES (1999, 2000), este incremento pode ser explicado pelo aumento do pH no solo e pela competição do fósforo com o ânion SiO_4^- presente na escória pelos mesmos sítios de adsorção no solo, implicando na liberação de fósforo para a solução do solo.

SMYTH & SANCHEZ (1980) observaram redução na adsorção de fósforo de 18 e 24% nas amostras de solo incubadas por seis meses com calcário e silicato de cálcio, respectivamente. PULZ (2007) estudando estresse hídrico e adubação silicatada em batata, também constatou que no tratamento silicato houve maior concentração de fósforo no solo em relação ao tratamento calcário, inferindo ter ocorrido o processo de dessorção do P devido à presença de Si.

Segundo RAIJ (1991), a correção da acidez do solo favorece o aproveitamento do P ou do elemento aplicado como fosfatos solúveis em água. Conseqüentemente, doses de material corretivo, reduzem as necessidades em fósforo.

Em relação à concentração de K no solo, esta apresentou efeito quadrático negativo ($P < 0,05$) com as doses de escória de siderurgia, sendo que a menor dose aplicada, ou seja, $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 foi a que proporcionou a maior concentração desse elemento no solo. Porém, para o tratamento com calcário, não houve diferença na concentração de potássio no solo com o aumento das doses (Figura 8c).

Em relação à concentração de silício “disponível” no solo, observou-se incremento significativo de 50% nos tratamentos ($6,29 \text{ mg dm}^{-3}$), em relação à testemunha ($4,18 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 2).

O baixo teor de Si “disponível” no Latossolo Vermelho distrófico obtido na testemunha é importante, pois, aumenta o potencial de resposta das plantas à aplicação desse elemento. 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 CaCl_2 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$. MELO (2005), analisando a concentração de Si “disponível”, também extraído com CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, em oito solos do Estado de São Paulo, encontrou teores de silício variando de 4,1 a $43,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Esse baixo teor de Si é consequência do avançado grau de intemperismo em que se encontram os solos de regiões tropicais e dos elevados teores de 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).

Quanto às fontes de material corretivo, notou-se maior concentração de Si “disponível” no solo tratado com a escória de siderurgia ($8,56 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação ao calcário ($4,20 \text{ mg dm}^{-3}$), considerando a média das três doses dos materiais corretivos.

Observou-se, ainda, que o aumento das doses de escória de siderurgia proporcionou efeito linear crescente ($P < 0,01$) na concentração de Si “disponível” no solo, ao passo que, com a aplicação do calcário, observou-se comportamento linear pouco expressivo (Figura 8i). Nota-se pelo coeficiente angular das retas obtidas para a

concentração de Si “disponível” no solo pós-incubação, em função da aplicação dos materiais corretivos, que a escória de siderurgia promoveu incremento de Si “disponível” oito vezes maior que o calcário dolomítico, atingindo o valor de 10,45 mg dm⁻³ de Si no solo.

4.1.2. Amostragem do solo após a colheita

Observando os resultados do solo após a colheita das plantas de capim-marandu (Tabela 3), verificou-se, com exceção da matéria orgânica, diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha para todas as variáveis.

Para os resultados da fertilidade do solo, pôde-se verificar que não houve diferença entre as fontes de material corretivo para as variáveis estudadas, exceto para P, Ca e SB. Assim, os resultados indicam que o uso de calcário dolomítico ou escória de siderurgia apresentam efeitos residuais semelhantes na maioria dos atributos químicos do solo (Tabela 3).

Em relação às doses de material corretivo testadas, notou-se efeito significativo para todas as variáveis, exceto para a matéria orgânica. A interação entre as fontes e doses de material corretivo para as variáveis pH, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, V%, foi significativa (Tabela 3). Com a aplicação da escória de siderurgia, observou-se comportamento linear ($P < 0,01$) para todas estas variáveis alcançando com a dose máxima de 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃, valores de 76,8 mmol_c dm⁻³ de Ca, 13,6 mmol_c dm⁻³ de Mg, 12,3 mmol_c dm⁻³ de H+Al, 90,8 mmol_c dm⁻³ de SB, 103,2 mmol_c dm⁻³ de CTC e 88% de V. Em relação ao uso do calcário, o efeito foi quadrático ($P < 0,01$) para a concentração de Ca, SB, CTC, V%, atingindo o ponto de máximo nas doses 4,60, 4,83, 4,73 e 5,11 t ha⁻¹ de ECaCO₃, correspondendo, respectivamente, a 72,6; 80,6; 94,9 mmol_c dm⁻³ e 85% (Figuras 9b, c, d, e, f).

Tabela 3. Efeitos dos tratamentos estudados nos atributos químicos do solo após o segundo ciclo de crescimento da *Brachiaria brizantha*.

Fontes (F)	pH em CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmolc dm ⁻³	H+Al mmolc dm ⁻³	SB	CTC	V %	Si mg dm ⁻³
Calcário Dolomítico	5,9	18	71	0,5	56	6	17	62,1	78,7	77	7,24
Escória de Siderurgia	5,9	17	85	0,5	60	7	17	67,1	84,1	78	9,06
Teste F	0,77 ^{NS}	2,79 ^{NS}	51,24 ^{**}	3,91 ^{NS}	9,59 ^{**}	3,40 ^{NS}	0,87 ^{NS}	10,57 ^{**}	13,37 ^{**}	1,68 ^{NS}	77,76 ^{**}
dms (Tukey 5%)	0,07	0,50	3,85	0,04	2,86	0,63	0,83	3,07	2,94	1,46	0,41
Doses de Material											
Corretivo (DMC)											
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	5,5	18	71	0,5	44	2	20	46,8	67,2	70	6,20
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	5,9	17	76	0,5	61	4	17	65,4	82,3	78	7,89
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	6,3	17	85	0,6	69	12	13	81,6	94,7	85	10,35
Teste F	162,36 ^{**}	2,13 ^{NS}	18,24 ^{**}	4,74 [*]	106,19 ^{**}	359,82 ^{**}	101,40 ^{**}	172,93 ^{**}	117,68 ^{**}	157,53 ^{**}	135,75 ^{**}
Doses de Nitrogênio											
(N)											
D1 (100 mg dm ⁻³)	5,9	18	75	0,5	62	6	16	68,7	85,1	79	7,88
D2 (200 mg dm ⁻³)	5,9	18	79	0,5	63	6	17	69,3	86,3	79	7,94
D3 (400 mg dm ⁻³)	5,9	17	79	0,6	49	6	17	55,8	72,8	76	8,63
Teste F	1,73 ^{NS}	0,05 ^{NS}	2,02 ^{NS}	4,85 [*]	37,87 ^{**}	0,38 ^{NS}	0,70 ^{NS}	33,11 ^{**}	34,62 ^{**}	8,64 ^{**}	5,38 ^{**}
Testemunha	4,7	18	68	1,5	30	2	38	33,5	71,5	47	3,43
Tratamentos	5,9	17	77	0,5	58	6	17	64,6	81,4	78	8,15
Teste F											
(F) X (DMC)	4,97 [*]	1,34 ^{NS}	2,28 ^{NS}	0,05 ^{NS}	30,30 ^{**}	27,68 ^{**}	6,38 ^{**}	37,54 ^{**}	32,39 ^{**}	13,78 ^{**}	13,62 ^{**}
(F) X (N)	0,73 ^{NS}	2,38 ^{NS}	1,34 ^{NS}	0,68 ^{NS}	11,09 ^{**}	6,96 ^{**}	1,34 ^{NS}	13,32 ^{**}	12,52 ^{**}	3,71 [*]	1,07 ^{NS}
(DMC) X (N)	6,79 ^{**}	0,76 ^{NS}	4,36 ^{**}	5,60 ^{**}	10,80 ^{**}	4,17 ^{**}	5,20 ^{**}	10,80 ^{**}	8,97 ^{**}	11,07 ^{**}	6,98 ^{**}
(F) X (DMC) X (N)	10,20 ^{**}	0,48 ^{NS}	15,57 ^{**}	0,50 ^{NS}	24,32 ^{**}	21,32 ^{**}	5,36 ^{**}	30,19 ^{**}	31,60 ^{**}	7,04 ^{**}	16,27 ^{**}
Trat. vs Test.	260,41 ^{**}	1,10 ^{NS}	5,42 [*]	438,99 ^{**}	79,76 ^{**}	39,75 ^{**}	546,89 ^{**}	87,14 ^{**}	9,61 ^{**}	389,48 ^{**}	109,94 ^{**}
CV (%)	2,5	6,1	10,5	15,9	10,7	21,9	9,8	10,3	7,7	4,0	11,1

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

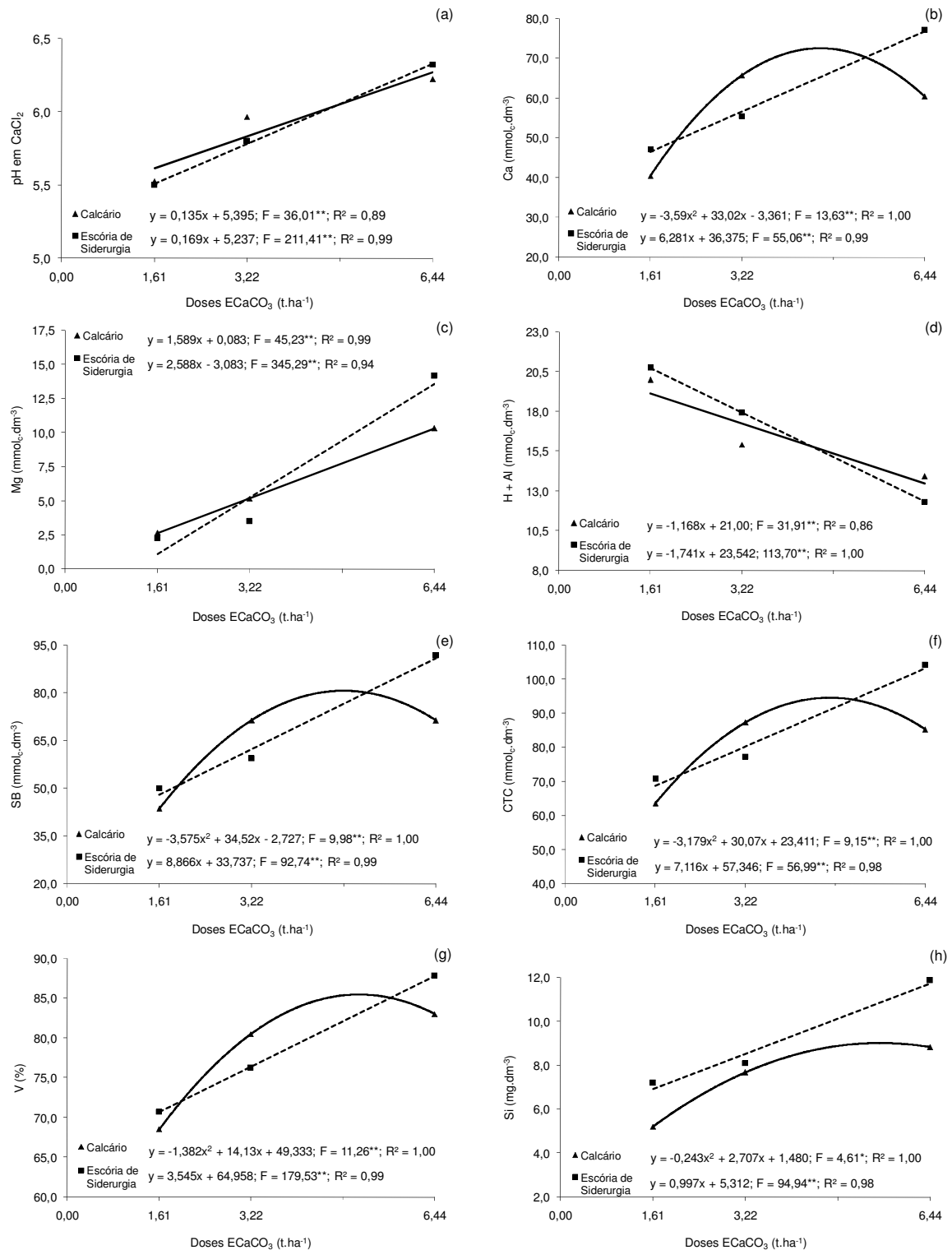


Figura 9. Efeito das fontes e doses de material corretivo nos atributos químicos do solo: pH (a), Ca (b), Mg (c), H+Al (d), SB (e), CTC (f), V% (g) e Si (h) em função de doses de material corretivo, após o segundo corte da *Brachiaria brizantha*. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Nota-se que os dois materiais corretivos promoveram incremento no valor do pH, diminuição na concentração de H+Al e aumento na concentração de bases (Ca e Mg) que refletiu na saturação por bases do solo. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos com uso de silicatos em experimentos em condições de vasos com emprego da fonte wollastonita (ARANTES, 1997; FARIA, 2000; MELO, 2005) e escória de siderurgia (PRADO & FERNANDES, 2000; FORTES, 2006) e também em experimentos de campo com escória de siderurgia (PRADO & FERNANDES, 2003).

Em relação à adubação nitrogenada, verificou-se que a interação fontes de material corretivo e doses de nitrogênio foi significativa para a concentração de Ca, Mg e V%. A aplicação do nitrogênio na presença do calcário não apresentou diferença em nenhuma das variáveis, ao passo que, com a escória de siderurgia, o efeito foi negativo para a concentração de Ca no solo, apresentando o mesmo comportamento para SB, CTC e V%. Pôde-se verificar, então, que a menor dose de N (100 mg dm^{-3}) proporcionou os maiores valores de Ca e V% no segundo corte das plantas de capim-marandu (Figuras 10a, e).

Observou-se, também, significância da interação doses de nitrogênio com as doses de material corretivo para todas as variáveis, com exceção da matéria orgânica (Tabela 3). Entretanto, para a concentração de P, K e Ca no solo, não houve ajuste ao modelo de superfície de resposta a 10% de probabilidade.

A associação das maiores doses de nitrogênio e material corretivo aplicadas, ou seja, 400 mg dm^{-3} de N e $6,44 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 , atingiram ponto máximo de 6,4 para o pH, $12,98 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg e $12,28 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de H+Al (Figuras 11a, b, c). Em relação à V%, observou-se melhor associação da maior dose de material corretivo com a dose de 200 mg dm^{-3} de N, a qual promoveu 85% de V (Figura 11f).

Para a concentração de silício “disponível” no solo, observou-se incremento significativo dos tratamentos em relação à testemunha no segundo corte das plantas do capim-marandu (Tabela 3).

Todavia, percebeu-se que houve uma diminuição de 18% na concentração de Si “disponível” no solo da testemunha no segundo corte comparada à época pós-incubação do solo, corroborando com LIMA FILHO et al. (1999) que relatam esta

diminuição em função da extração desse elemento por culturas acumuladoras, como as gramíneas de modo geral, associada à falta de uso de adubação silicatada.

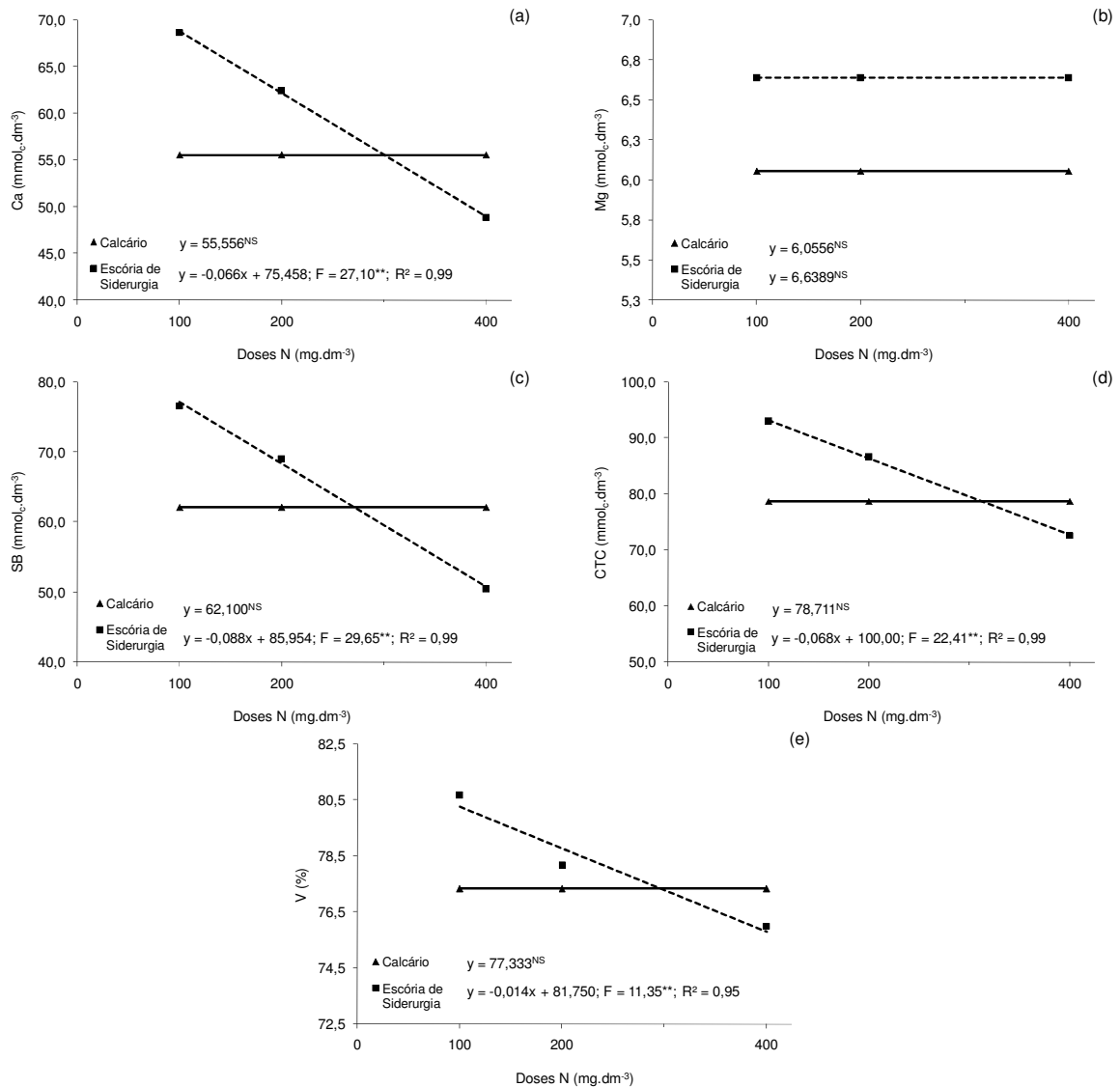


Figura 10. Efeito das fontes de material corretivo e doses de nitrogênio nos atributos químicos do solo: Ca (a), Mg (b), SB (c), CTC (d), V% (e) em função de doses de nitrogênio, após o segundo corte da *Brachiaria brizantha*. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Quanto às fontes de material corretivo analisadas, notou-se maior concentração de Si no solo tratado com escória de siderurgia em relação ao calcário (Tabela 2).

Para as doses de material corretivo, houve também efeito significativo na concentração de Si “disponível” no solo, interagindo significativamente com as fontes testadas. Assim, verificou-se que, houve efeito linear crescente com o aumento das doses de escória de siderurgia, atingindo o máximo de 11,70 mg de Si dm⁻³, ao passo que, com o uso do calcário, observou-se comportamento quadrático, sendo a dose 5,57 t ha⁻¹ de ECaCO₃ a que proporcionou maior concentração de Si “disponível” no solo (9,02 mg dm⁻³) (Figura 9h).

LEITE (1997) estudou as doses de Si 0 e 400 mg kg⁻¹, usando uma solução aquosa contendo SiCl₄, e verificou aumento na disponibilidade de Si solúvel no solo (em CaCl₂ 2,5 mmol L⁻¹) de 5 a 16 mg dm⁻³. MELO et al. (2003) avaliaram doses de Si (0 e 1452 kg ha⁻¹) como wollastonita e também verificaram aumentos na concentração de Si no solo (5,8 a 27,9 mg dm⁻³).

Avaliando a disponibilidade de silício no solo, mediante a aplicação de escórias de siderurgia, CARVALHO-PUPATTO et al. (2004) e PEREIRA et al. (2007) também observaram incrementos significativos na concentração desse elemento no solo.

Nota-se que a interação das doses de material corretivo e de nitrogênio foi significativa (Tabela 3), sendo a combinação de 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃ e 400 mg de N dm⁻³ a que proporcionou maior concentração de Si no solo (10,88 mg dm⁻³). Logo, observou-se que a aplicação dos materiais corretivos incrementou a concentração de Si “disponível” no solo, especialmente na maior dose de N (Figura 11g). Isso ocorreu, provavelmente, devido à acidificação do solo pela adubação nitrogenada (RAIJ, 1991), pois, essa reação ácida favorece a solubilização dos silicatos e, conseqüentemente, o aumento na concentração de silício no solo (ALCARDE, 1992).

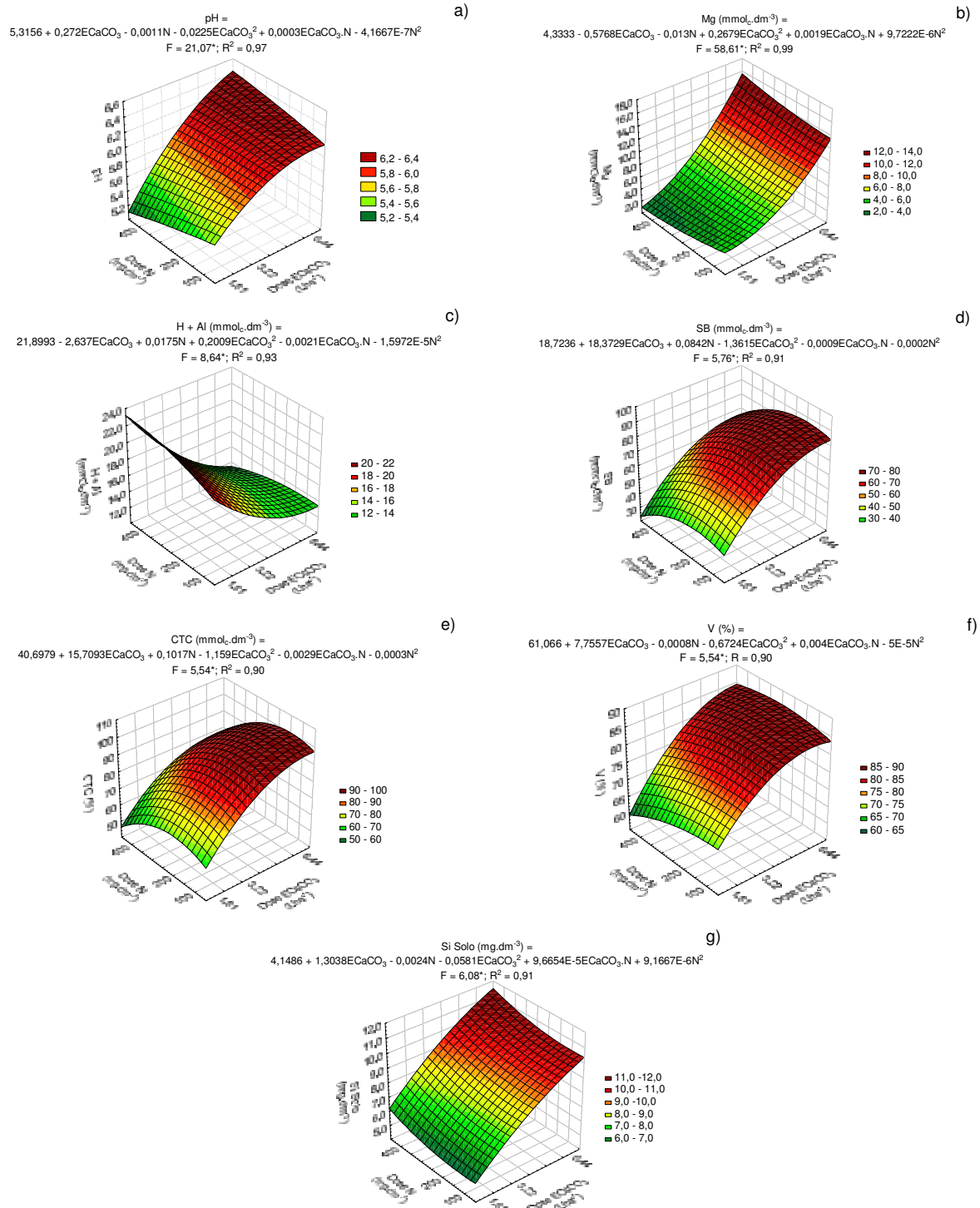


Figura 11. Superfícies de resposta em função de doses de material corretivo e doses de nitrogênio nos atributos químicos do solo: pH (a), Mg (b), H+Al (c), SB (d), CTC (e), V% (f) e Si (g) após o segundo corte da *Brachiaria brizantha*. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

4.2. Efeitos dos tratamentos no crescimento da *Brachiaria brizantha*

Observou-se diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha em todas as variáveis analisadas quanto ao crescimento da *Brachiaria brizantha*. Assim, de forma geral, a aplicação dos materiais corretivos e do nitrogênio incrementou o número de folhas, número de perfilhos, altura, área foliar e massa seca em relação à testemunha no primeiro corte, em 133, 150, 25, 187 e 115%, respectivamente, e, em 300, 200, 26, 74 e 295%, respectivamente, para estas mesmas variáveis, no segundo corte (Tabelas 5 e 6).

De acordo com os dados obtidos, pôde-se verificar que, não houve diferença entre as fontes de material corretivo, indicando que o uso de calcário ou escória de siderurgia foram semelhantes na análise das variáveis de crescimento do primeiro corte após 48 dias (Tabela 4), entretanto, no 2º corte, as fontes de material corretivo foram diferentes na produção de massa seca (Tabela 5).

Quanto ao número de folhas das plantas, houve efeito significativo das doses de material corretivo e das doses de nitrogênio nos dois cortes da forrageira (Tabelas 5 e 6). Observou-se decréscimo linear com as doses de material corretivo no 1º corte ($\text{Número de Folhas} = -0,296\text{ECaCO}_3 + 15,030$; $F = 5,49^*$; $R^2 = 0,93$) e no 2º corte ($\text{Número de Folhas} = -0,300\text{ECaCO}_3 + 17,182$; $F = 6,83^*$; $R^2 = 0,97$). Portanto, a menor dose ($1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3), ou seja, a metade da dose recomendada foi suficiente para obtenção do maior número de folhas em ambos os cortes, o que implica no uso desnecessário de doses mais elevadas do material corretivo. Quanto às doses de nitrogênio, o comportamento foi o mesmo no número de folhas nas duas épocas de corte, verificando incremento linear crescente com as doses de N aplicadas ao solo, para o 1º corte ($\text{Número de Folhas} = 0,017N + 10,974$; $F = 37,05^{**}$; $R^2 = 0,94$) e para o 2º corte ($\text{Número de Folhas} = 0,025N + 10,073$; $F = 159,33^{**}$; $R^2 = 0,95$).

Em se tratando do perfilhamento do capim-marandu, apenas as doses de nitrogênio afetaram esta variável no 1º corte (Tabela 4). Assim como o número de folhas, houve aumento linear ($\text{Número de Perfilhos} = 0,003N + 3,880$; $F = 17,45^{**}$; $R^2 = 0,99$) no número de perfilhos dessa gramínea com aplicação de nitrogênio. Estes

resultados do incremento do número de perfilhos com a aplicação de nitrogênio, foram também verificados por outros autores em gramíneas forrageiras (LANGER, 1963; RYLE, 1970; LAUDE, 1972; PINTO, 1982; PINTO et al., 1994; ABREU, 1994).

Tabela 4. Efeitos dos tratamentos no número de folhas, no número de perfilhos, na altura, na área foliar e na produção de massa seca por planta de *Brachiaria brizantha* – 1º corte.

Fontes (F)	Nº de Folhas	Nº de Perfilhos	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	Massa Seca (g)
Calcário Dolomítico	14	5	84,0	327,86	1,39
Escória de Siderurgia	14	5	83,0	312,52	1,45
Teste F	0,48 ^{NS}	1,25 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,96 ^{NS}	1,21 ^{NS}
dms (Tukey 5%)	0,88	0,35	2,32	31,38	0,11
Doses de Material Corretivo (DMC)					
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	15	5	83,2	334,24	1,58
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	14	5	84,6	334,03	1,38
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	13	4	82,7	292,31	1,30
Teste F	3,86*	2,62 ^{NS}	1,01 ^{NS}	3,18*	8,59**
Doses de Nitrogênio (N)					
D1 (75 mg dm ⁻³)	12	4	79,8	248,01	1,14
D2 (150 mg dm ⁻³)	14	5	83,2	318,97	1,49
D3 (300 mg dm ⁻³)	16	5	87,6	393,59	1,63
Teste F	25,44**	8,58**	15,22**	28,88**	27,36**
Testemunha	6	2	66,9	111,49	0,66
Tratamentos	14	5	83,5	320,19	1,42
Teste F					
(F) X (DMC)	0,91 ^{NS}	2,32 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,11 ^{NS}	3,59*
(F) X (N)	0,97 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,64 ^{NS}	4,73*
(DMC) X (N)	1,61 ^{NS}	0,56 ^{NS}	2,80*	3,33*	3,58*
(F) X (DMC) X (N)	4,38**	3,16*	0,69 ^{NS}	2,31 ^{NS}	3,72**
Tratamentos vs Testemunha	69,05**	48,86**	43,68**	37,47**	38,71**
CV (%)	14,0	16,4	5,9	21,5	17,3

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

Dos fatores estudados, apenas as doses de nitrogênio afetaram a altura das plantas, entretanto, a interação entre as doses de nitrogênio e as doses de material corretivo foi significativa (Tabela 4). Contudo, não se observou ajuste ao modelo de superfície de resposta a 10% de significância. No 2º corte, entretanto, apenas as doses de material corretivo afetaram a altura das plantas aos 96 dias, observando incremento linear ($\text{Altura} = 1,050\text{ECaCO}_3 + 76,535$; $F = 14,18^{**}$; $R^2 = 0,98$) na altura das plantas com aumento das doses dos corretivos.

Tabela 5. Efeitos dos tratamentos no número de folhas, no número de perfilhos, na altura, na área foliar e na produção de massa seca por planta de *Brachiaria brizantha* – 2º corte.

Fontes (F)	Nº de Folhas	Nº de Perfilhos	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	Massa Seca (g)
Calcário Dolomítico	16	6	80,7	384,76	2,69
Escória de Siderurgia	16	6	80,3	393,65	2,53
Teste F	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,31 ^{NS}	12,26**
dms (Tukey 5%)	0,83	0,40	2,14	32,24	0,09
Doses de Material Corretivo (DMC)					
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	17	6	78,0	390,90	2,60
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	16	6	80,3	394,12	2,47
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	15	5	83,2	382,59	2,76
Teste F	4,93*	2,15 ^{NS}	7,94**	0,18 ^{NS}	13,40**
Doses de Nitrogênio (N)					
D1 (100 mg dm ⁻³)	12	4	79,9	314,01	2,03
D2 (200 mg dm ⁻³)	16	5	80,9	393,87	2,69
D3 (400 mg dm ⁻³)	20	7	80,7	459,73	3,11
Teste F	110,62**	51,78**	0,35 ^{NS}	27,48**	186,77**
Testemunha	4	2	63,9	223,74	0,66
Tratamentos	16	6	80,5	389,20	2,61
	Teste F				
(F) X (DMC)	1,37 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,07 ^{NS}	8,88**
(F) X (N)	2,50 ^{NS}	1,22 ^{NS}	1,01 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,49 ^{NS}
(DMC) X (N)	0,58 ^{NS}	1,16 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,93 ^{NS}	8,11**
(F) X (DMC) X (N)	4,36**	2,45 ^{NS}	2,86*	1,15 ^{NS}	9,14**
Tratamentos vs Testemunha	185,53**	64,89**	51,07**	22,30**	381,62**
CV (%)	11,2	15,9	5,7	17,9	7,8

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

Para a área foliar das plantas no 1º corte, observou-se efeito dos fatores doses de material corretivo e doses de nitrogênio nas plantas. Logo, a interação entre esses dois fatores foi significativa (Tabela 4). Entretanto, não se verificou ajuste significativo da superfície de resposta ao nível de 10% de probabilidade. Logo, os resultados não comprovaram efeito positivo da combinação entre as doses de nitrogênio e de silício para o aumento da altura e da área foliar do capim-marandu no primeiro corte.

Em se tratando do perfilhamento e da área foliar das plantas do capim-marandu no 2º corte, apenas as doses de nitrogênio afetaram estas variáveis. Assim, houve aumento linear no número de perfilhos (Número de Perfilhos = 0,008N + 3,536; F = 100,72**; R² = 0,99) e na área foliar das plantas (Área Foliar = 0,436N + 281,080; F = 96,09**; R² = 0,94) com aplicação de nitrogênio.

No segundo corte, houve aumento médio de um perfilho por planta em relação ao primeiro corte. Isso se deve ao fato da planta estar formada e, conseqüentemente, com maior capacidade de absorver nutrientes no segundo crescimento. Outro ponto a ser considerado, consiste em já ter sido realizado o primeiro corte, onde, provavelmente, a gema apical foi retirada, e as gemas basais foram estimuladas, favorecendo maior produção de perfilhos.

Quanto à produção de massa seca das plantas de capim-marandu obtida no 1º corte, verificou-se efeito significativo das doses de material corretivo e das doses de nitrogênio, observando significância da interação de todos os fatores estudados (Tabela 4). No tratamento com escória de siderurgia não houve diferença como aumento das doses, todavia, no tratamento com calcário, observou-se decréscimo linear ($P < 0,05$) na produção de massa seca (Figura 12), o que está associado também ao decréscimo no número de folhas com o aumento das doses de material corretivo no 1º corte. Portanto, a menor dose de calcário aplicada, ou seja, a metade da dose recomendada, foi suficiente para obter a maior produção de massa seca, que está relacionada à V inicial de 38% (Figura 8h). FORTES (2006), também, observou que o V% baixo (próximo de 30%) para o capim-marandu foi suficiente para obter maior produção de massa seca. Esses resultados indicam que o capim-marandu apresenta alta adaptação a solos com reação ácida, fato amplamente relatado na literatura (MONTEIRO & EUCLIDES, 2005).

Observou-se, também, que o incremento das doses de nitrogênio no 1º corte, associadas à escória de siderurgia, promoveu aumento linear na produção de massa seca ($P < 0,01$) e, efeito quadrático ($P < 0,05$) com o uso do calcário, atingindo o ponto máximo na dose de $250 \text{ mg de N dm}^{-3}$ (Figura 13). Assim, esses resultados indicam o efeito benéfico da associação da adubação com silício e nitrogênio na produção de massa seca do capim-marandu.

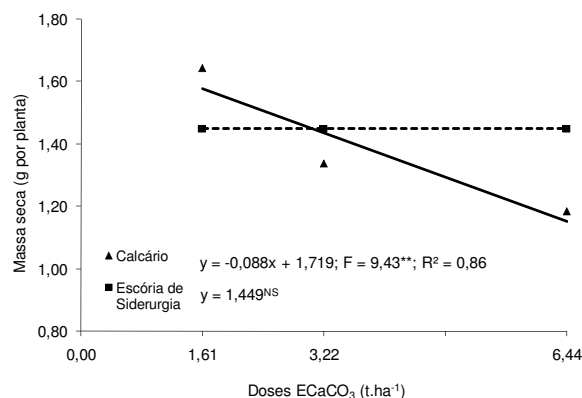


Figura 12. Efeito das fontes e doses de material corretivo na produção de massa de *Brachiaria brizantha*, no primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Essa maior resposta da forrageira à aplicação de nitrogênio em solo com uso do silício também foi relatada por MALAVOLTA (2006). Segundo este autor, o Si torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, com melhoria na interceptação da luz e na fotossíntese, minimizando o acamamento das plantas causado por altas aplicações de N que tornam os tecidos vegetais mais tenros, suscetíveis à penetração de agentes externos como pragas e patógenos e ocasionando queda na produtividade da cultura.

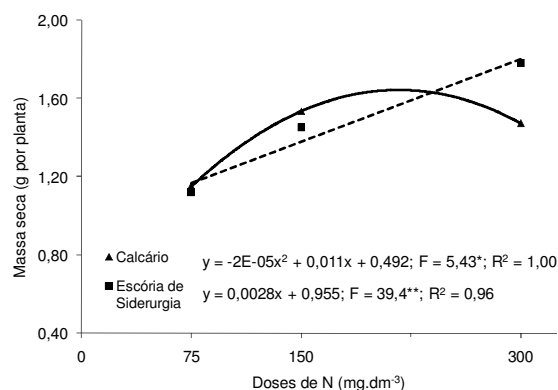


Figura 13. Efeito das fontes de material corretivo e doses de nitrogênio na produção de massa seca de *Brachiaria brizantha*, no primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Salienta-se que, o incremento da massa seca da parte aérea em função da adubação nitrogenada também foi explicado pelo incremento no número de folhas, número de perfilhos, altura e área foliar, conforme dito anteriormente. Este efeito

positivo do nitrogênio no crescimento de braquiárias foi relatado por diversos autores (HOFFMANN, 1992; SANTOS, 1997), e isto ocorre devido o papel do N na nutrição das plantas, pois, segundo MALAVOLTA et al. (1997), o N, tendo função estrutural, participa de diversos componentes orgânicos das plantas, como aminoácidos, proteínas e enzimas vitais para o crescimento vegetal.

Para a interação doses de material corretivo e doses de nitrogênio, não houve ajuste significativo a 10% de probabilidade na produção de massa seca para o modelo de superfície de resposta no primeiro corte.

No 2º corte, verificou-se pela interação fontes e doses de material corretivo, que a aplicação do calcário não apresentou diferença com o aumento das doses, todavia, no tratamento com escória de siderurgia, observou-se comportamento quadrático na produção de massa seca, sendo a dose 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃ a que proporcionou maior incremento na produção de massa seca (Figura 14). Nota-se que a alta dose de material corretivo na forma de escória não prejudicou o crescimento da forrageira no 1º corte, e até aumentou o crescimento no 2º corte. O contrário ocorreu com emprego do calcário (Figura 12). Este fato também foi relatado por PRADO et al. (2001) com a cultura da cana-de-açúcar durante os dois primeiros cortes.

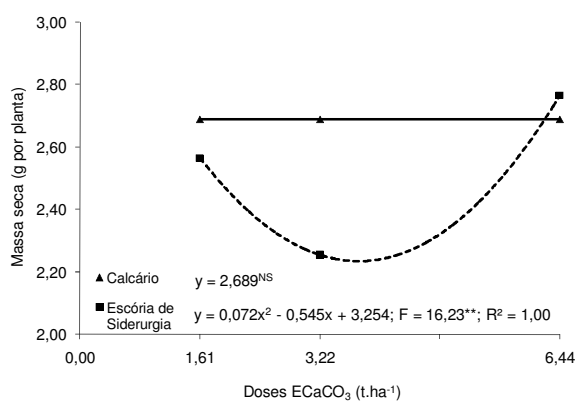


Figura 14. Efeito das fontes e doses de material corretivo na produção de massa de *Brachiaria brizantha*, após o segundo corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

KORNDÖRFER, C. et al. (2001), em trabalho de campo, estudando a aplicação superficial de silicato de cálcio (2000 kg ha⁻¹) na região do Triângulo Mineiro em um

Latossolo Vermelho-amarelo, observaram aumento de 17% na produção de massa seca da *Brachiaria decumbens*.

Em relação à interação doses de material corretivo e de nitrogênio, observou-se que a combinação das doses 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃ e 400 mg dm⁻³ de N foi a que proporcionou maior produção de massa seca por planta no 2º corte (3,28 g) (Figura 15).

A produção de massa seca do capim-marandu foi maior no segundo corte em relação ao primeiro. Pode-se atribuir essa diferença de produção entre os cortes, ao fato de no primeiro crescimento a planta destinar mais energia para a formação e estabelecimento da estrutura da parte aérea e do sistema radicular, ao passo que no segundo crescimento, a planta tinha todo o sistema radicular formado, podendo destinar mais energia para a produção e manutenção da parte aérea. Esse mesmo comportamento foi constatado no segundo corte por SANTOS (1999) estudando o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e por LAVRES JÚNIOR (2001) com o capim-mombaça (*Panicum maximum*).

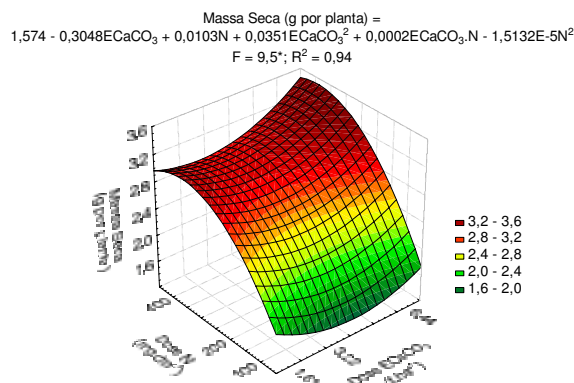


Figura 15. Superfície de resposta em função de doses de material corretivo e de nitrogênio na produção de massa seca das plantas de *Brachiaria brizantha*, após o segundo corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

4.3. Efeitos dos tratamentos na nutrição da *Brachiaria brizantha*

4.3.1. Teores de macronutrientes e de silício

Pelos resultados das análises químicas do tecido vegetal realizadas após os cortes das plantas do capim-marandu, observou-se, com exceção do fósforo e do potássio, que todos os macronutrientes apresentaram efeito significativo dos tratamentos sobre a testemunha (Tabelas 6 e 7). Com a aplicação dos materiais corretivos e do nitrogênio, notou-se que todos os elementos estudados apresentaram, nos dois cortes, teores adequados considerando a parte aérea (brotação nova e folhas verdes) da *Brachiaria brizantha* segundo WERNER et al. (1997), ou seja, N = 13-20; P = 0,8-3,0; K = 12,0-30,0; Ca = 3,0-6,0; Mg = 1,5-4,0 e S = 0,8-2,5 g kg⁻¹, exceto o potássio no 2º corte.

Tabela 6. Efeitos dos tratamentos nos teores de macronutrientes e de silício nas plantas de *Brachiaria brizantha* – 1º corte.

Fontes (F)	N	P	K	Ca g kg ⁻¹	Mg	S	Si
Calcário Dolomítico	27,9	3,4	28,5	5,3	4,8	2,5	7,6
Escória de Siderurgia	28,0	3,1	26,8	4,9	4,7	2,4	10,3
Teste F	0,06 ^{NS}	6,32*	6,38*	14,54**	0,94 ^{NS}	8,18**	66,52**
dms (Tukey 5%)	1,15	0,21	1,34	0,20	0,28	0,10	0,65
Doses de Material Corretivo (DMC)							
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	27,3	3,4	27,6	4,8	3,8	2,4	8,2
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	27,6	3,3	26,7	5,1	4,6	2,4	9,3
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	28,9	3,1	28,6	5,4	5,8	2,5	9,5
Teste F	3,02 ^{NS}	2,83 ^{NS}	2,26 ^{NS}	12,93**	72,67**	2,93 ^{NS}	6,37**
Doses de Nitrogênio (N)							
D1 (75 mg dm ⁻³)	23,7	3,4	30,1	4,5	4,0	2,3	9,4
D2 (150 mg dm ⁻³)	28,7	3,3	27,8	5,2	5,0	2,5	8,5
D3 (300 mg dm ⁻³)	31,5	3,2	25,1	5,7	5,2	2,5	9,0
Teste F	63,07**	1,68 ^{NS}	19,20**	47,45**	30,50**	4,19*	2,92 ^{NS}
Testemunha	11,1	3,1	25,7	4,3	1,6	1,6	12,5
Tratamentos	28,0	3,3	27,7	5,1	4,7	2,4	9,0
Teste F							
(F) X (DMC)	1,05 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,49 ^{NS}	4,57*	12,95**	8,00**	3,57*
(F) X (N)	0,10 ^{NS}	1,09 ^{NS}	2,34 ^{NS}	2,33 ^{NS}	8,22**	1,48 ^{NS}	1,74 ^{NS}
(DMC) X (N)	6,22**	3,71**	3,04*	15,17**	14,07**	0,86 ^{NS}	0,16 ^{NS}
(F) X (DMC) X (N)	4,62**	1,29 ^{NS}	8,85**	1,18 ^{NS}	1,14 ^{NS}	1,59 ^{NS}	2,00 ^{NS}
Tratamentos vs Testemunha	181,74**	0,45 ^{NS}	1,80 ^{NS}	15,07**	108,90**	64,69**	25,04**
CV (%)	9,0	13,8	10,3	8,2	12,8	8,8	15,0

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

De acordo com os dados obtidos (Tabelas 6 e 7), pôde-se verificar que, para a interação fontes e doses de material corretivo, apenas os macronutrientes Ca, Mg apresentaram efeito significativo nos dois cortes da forrageira. Já a interação fontes de material corretivo e doses de nitrogênio, somente o Mg mostrou significância e, na última interação analisada, no 1º corte, com exceção do S, todos os nutrientes apresentaram efeito significativo entre as doses de material corretivo e de nitrogênio aplicadas e, no 2º corte somente os elementos K, Mg e S apresentaram essa significância.

Tabela 7. Efeitos dos tratamentos nos teores de macronutrientes e de silício nas plantas de *Brachiaria brizantha* – 2º corte.

Fontes (F)	N	P	K	Ca g kg ⁻¹	Mg	S	Si
Calcário Dolomítico	18,8	2,5	8,2	8,4	9,0	1,9	4,5
Escória de Siderurgia	18,6	2,4	8,4	7,9	9,1	1,7	6,6
Teste F	0,17 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,84 ^{NS}	9,02**	0,16 ^{NS}	17,99**	117,10**
dms (Tukey 5%)	0,77	0,13	0,56	0,37	0,49	0,09	0,40
Doses de Material Corretivo (DMC)							
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	19,6	2,6	8,6	8,7	6,2	1,7	5,5
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	18,6	2,6	7,5	8,5	9,3	1,9	5,6
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	17,8	2,1	8,7	7,3	11,57	1,7	5,6
Teste F	7,60**	27,78**	8,10**	22,11**	158,66**	4,54*	0,02 ^{NS}
Doses de Nitrogênio (N)							
D1 (100 mg dm ⁻³)	13,1	2,5	12,0	6,9	8,0	1,5	7,2
D2 (200 mg dm ⁻³)	17,6	2,6	6,8	8,8	10,1	1,8	4,9
D3 (400 mg dm ⁻³)	25,4	2,3	6,1	8,8	9,0	2,0	4,6
Teste F	354,26**	7,52**	173,83**	47,98**	23,43**	36,71**	70,53**
Testemunha	10,0	2,2	32,0	4,4	2,5	1,4	13,7
Tratamentos	18,7	2,4	8,3	8,2	9,0	1,8	5,6
Teste F							
(F) X (DMC)	0,46 ^{NS}	1,29 ^{NS}	2,10 ^{NS}	5,45**	27,22**	1,03 ^{NS}	49,28**
(F) X (N)	1,02 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,47 ^{NS}	2,34 ^{NS}	5,77**	0,40 ^{NS}	0,00 ^{NS}
(DMC) X (N)	1,27 ^{NS}	0,32 ^{NS}	10,04**	0,50 ^{NS}	26,35**	7,83**	4,52**
(F) X (DMC) X (N)	1,58 ^{NS}	1,39 ^{NS}	4,97**	1,39 ^{NS}	16,02**	3,42*	4,13**
Tratamentos X Testemunha	109,60**	3,59 ^{NS}	1510,79**	91,53**	150,77**	12,40**	349,32**
CV (%)	8,9	11,0	12,4	9,7	12,0	11,2	14,1

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

Para o teor de nitrogênio na parte aérea da gramínea no 1º corte, observou-se que apenas o fator nitrogênio apresentou efeito significativo, entretanto, a interação doses de material corretivo e de nitrogênio também foi significativa. Contudo, não se

observou, a 10% de probabilidade, ajuste ao modelo de superfície de resposta, assim como para os teores de P e K no 1º corte. Com a aplicação do nitrogênio, notou-se que o teor de N obtido no capim-marandu no 1º corte, variou de 23,7 a 31,5 g kg⁻¹.

No 2º corte, como não houve efeito significativo das interações para o teor de N, analisou-se os fatores isoladamente. Observou-se que as fontes de material corretivo estudadas não afetaram o teor desse elemento nas plantas. No entanto, para as doses de material corretivo, o efeito observado seguiu modelo linear decrescente (Teor N = $-0,359\text{ECaCO}_3 + 20,037$; $F = 13,69^{**}$; $R^2 = 0,94$), constatando que a menor dose de material corretivo, ou seja, 1,61 t ha⁻¹ de ECaCO₃, esteve associada ao maior teor de N nas plantas. Em relação às doses de nitrogênio aplicadas, o comportamento foi o inverso; o teor de N nas plantas do capim-marandu apresentou incremento linear (Teor N = $0,040N + 9,187$; $F = 756,03^{**}$; $R^2 = 0,99$) no 2º corte.

Quanto ao teor de fósforo nas plantas no 2º corte, também não se observou significância das interações estudadas. Os fatores doses de material corretivo e doses de nitrogênio analisados separadamente, apresentaram comportamento quadrático significativo, sendo as doses de 2,77 t ha⁻¹ de ECaCO₃ e 211 mg dm⁻³ de N obtidas pelas equações Teor P = $-0,037 \text{ECaCO}_3^2 + 0,205\text{ECaCO}_3 + 2,345$; $F = 8,57^{**}$; $R^2 = 1,00$ e Teor P = $-8\text{E-}06N^2 + 3,375\text{E-}03N + 2,210$; $F = 5,82^*$; $R^2 = 1,00$, respectivamente, as que proporcionaram o maior teor desse elemento nas plantas (2,6 g kg⁻¹).

MONTEIRO et al. (1995) verificaram, em capim-marandu cultivado em solução nutritiva, que o teor de fósforo na parte aérea da planta foi de 2,4 g kg⁻¹ no tratamento completo e de 0,4 g kg⁻¹ no tratamento com omissão de fósforo.

Para o teor de potássio no 2º corte, apenas a interação das doses de material corretivo e de nitrogênio foi significativa, mostrando a combinação de 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃ e 100 mg dm⁻³ de N ser a mais favorável para atingir o máximo de K nas plantas (13 g kg⁻¹) (Teor de K = $22,5708 - 1,6826\text{ECaCO}_3 - 0,0982N + 0,2261\text{ECaCO}_3^2 - 0,0005\text{ECaCO}_3.N + 0,0002N^2$; $F = 5,56^*$; $R^2 = 0,90$). Este valor está quase no limite inferior da faixa adequada (12,0-30,0) para o teor de K no capim-marandu, segundo WERNER et al. (1997).

LAVRES JÚNIOR. (2001) obteve nos colmos mais baixa do capim-mombaça, interação significativa entre as doses de potássio e de nitrogênio no primeiro corte e, na ocasião do segundo corte, houve significância das doses de potássio isoladas, ajustando ao modelo linear de regressão, com a concentração de K variando de 5,4 a 30,0 g kg⁻¹.

Para o teor de cálcio no capim-marandu, todos os fatores estudados afetaram significativamente seu valor na planta nos dois cortes. No 1º corte, as interações entre os fatores fontes e doses de material corretivo e, doses de material corretivo com doses de nitrogênio foram significativas. Pela interação fontes e doses de material corretivo, observou-se, apenas para o calcário, efeito significativo, apresentando modelo linear crescente ($P < 0,01$) no teor de Ca na planta (Figura 16a). Analisando a interação doses de material corretivo e doses de nitrogênio, notou-se que não houve ajuste ao modelo de superfície de resposta ao nível de 10% de significância.

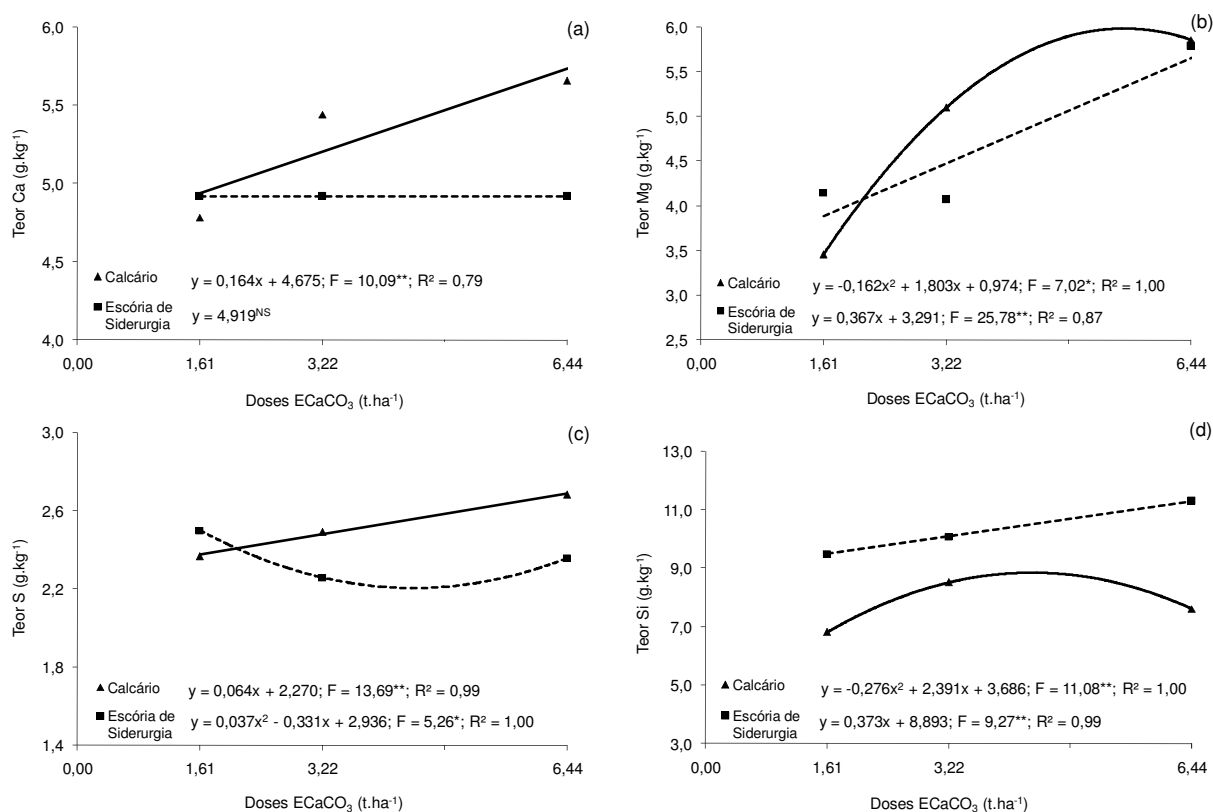


Figura 16. Efeito das fontes e doses de material corretivo em função das doses de material corretivo nos teores de Ca (a), Mg (b), S (c) e Si (d) nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

No 2º corte, o teor de cálcio apresentou significância somente na interação fontes e doses de material corretivo, onde o aumento das doses de calcário promoveu decréscimo linear ($P < 0,05$) no teor de Ca. Quando se utilizou escória de siderurgia, o comportamento seguiu modelo quadrático ($P, 0,01$), sendo a dose $2,97 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 a que proporcionou maior teor de Ca nas plantas ($8,7 \text{ g kg}^{-1}$), diminuindo a partir desse ponto (Figura 17a). A escória de siderurgia contém cálcio na sua composição, a possível causa desse decréscimo pode ser devido ao fator diluição dentro da planta, pois, as doses de escória de siderurgia influenciaram na produção de massa seca do capim-marandu.

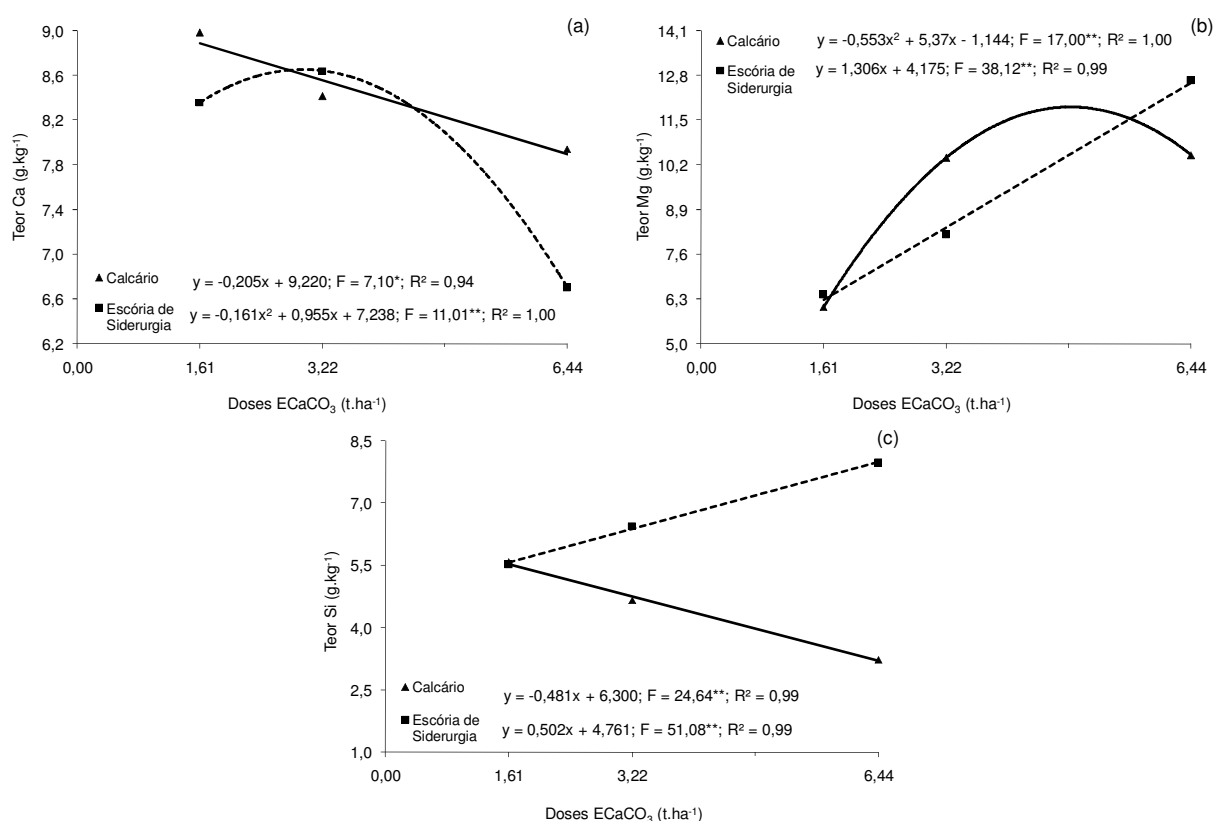


Figura 17. Efeito das fontes e doses de material corretivo em função das doses de material corretivo nos teores Ca (a), Mg (b) e Si (c) nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o segundo corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

MONTEIRO et al. (1995) cultivaram o capim-marandu em solução nutritiva e constataram que o teor de cálcio na massa seca da parte aérea se alterou de 0,9 para

8,5 g kg⁻¹, respectivamente do tratamento com omissão de cálcio para o tratamento completo.

Para o teor de magnésio na planta, foi observada interação significativa entre todos os fatores estudados nos dois cortes. No 1º corte, pela interação fontes e doses de material corretivo, verificou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) no teor de Mg na planta o aumento das doses de calcário, obtendo o teor máximo de Mg na dose 5,56 t ha⁻¹ de ECaCO₃ e, efeito linear crescente ($P < 0,01$) para a escória de siderurgia (Figura 16b). Quanto à interação fontes de material corretivo e doses de nitrogênio, notou-se efeito linear crescente ($P < 0,01$) para o calcário e, efeito quadrático ($P < 0,01$) para escória de siderurgia com o aumento das doses de nitrogênio, sendo a dose de 235 mg dm⁻³ de N a que proporcionou maior incremento no teor desse elemento no capim-marandu (Figura 18). Já a interação doses de material corretivo e de nitrogênio, observou-se ajuste ao modelo de superfície de resposta ($P < 0,10$), sendo a combinação das doses 6,44 t ha⁻¹ de ECaCO₃ de material corretivo e 300 mg dm⁻³ de N a que proporcionou maior teor de Mg (7,0 g kg⁻¹) nas plantas (Figura 19).

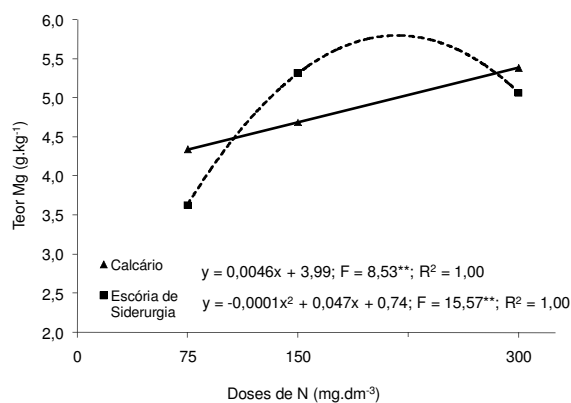


Figura 18. Efeito das fontes de material corretivo e doses de nitrogênio em função das doses de nitrogênio no teor de Mg nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

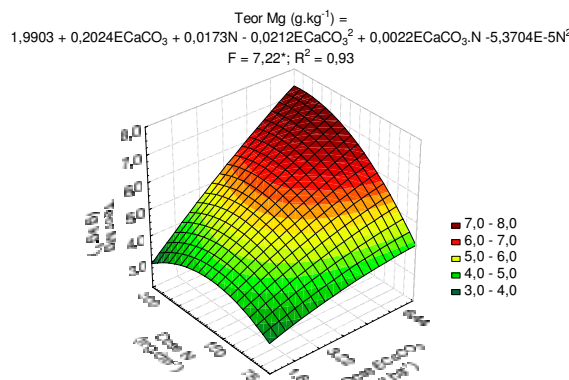


Figura 19. Superfície de resposta em função de doses de material corretivo e doses de nitrogênio no teor de Mg nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

No 2º corte, para interação fontes e doses de material corretivo, verificou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) no teor de Mg na planta com as doses de calcário, obtendo o teor máximo de Mg na dose 4,86 t ha⁻¹ de ECaCO₃ e, efeito linear crescente ($P < 0,01$) para a escória de siderurgia (Figura 17b). Quanto à interação fontes de material corretivo e doses de nitrogênio, notou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) tanto para o calcário quanto para escória de siderurgia com as doses de nitrogênio, sendo as doses de 264 e 275 mg dm⁻³ de N, respectivamente, para o calcário e escória de siderurgia, as que proporcionaram maior incremento no teor de Mg no capim-marandu (Figura 20).

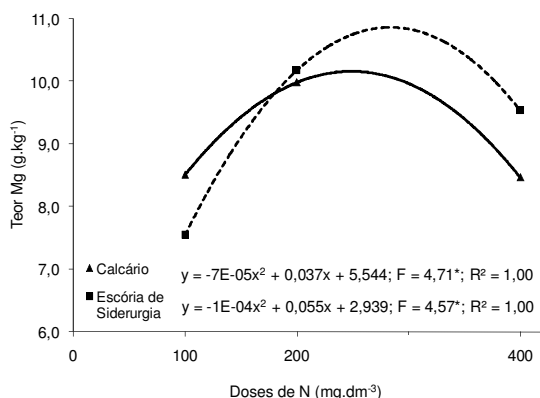


Figura 20. Efeito das fontes de material corretivo e doses de nitrogênio em função das doses de nitrogênio no teor de Mg nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o segundo corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Já a interação doses de material corretivo e de nitrogênio, ajustou-se ao modelo de superfície de resposta ($P < 0,10$), onde a combinação das doses $6,44 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 e 400 mg dm^{-3} de N foi a que proporcionou maior teor de Mg ($13,2 \text{ g kg}^{-1}$) nas plantas no segundo corte (Figura 21).

Para o teor de S na planta no 1º corte, verificou-se significância da interação das fontes e doses de material corretivo. Houve efeito linear crescente ($P < 0,01$) no teor de S na planta com o uso do calcário dolomítico e, efeito quadrático negativo ($P < 0,05$) quando se utilizou a escória de siderurgia, sendo a dose de $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 a que maior proporcionou teor de S nas plantas com a escória de siderurgia (Figura 16c).

No 2º corte, verificou-se significância da interação doses de material corretivo e de nitrogênio no teor de S nas plantas. Todavia, não se ajustou ao modelo de superfície de resposta a 10% de probabilidade.

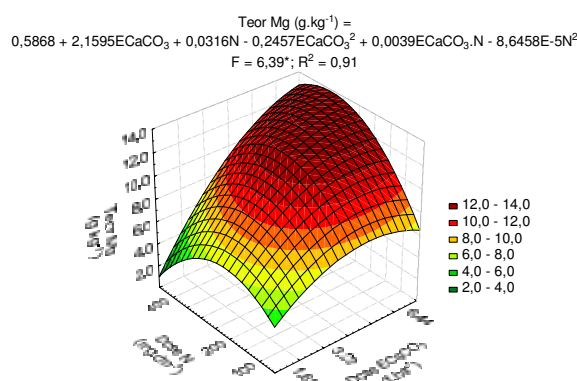


Figura 21. Superfície de resposta em função de doses de material corretivo e de nitrogênio no teor de Mg nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o segundo corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Quanto ao teor de Si nas plantas de capim-marandu, observou-se decréscimo de 28% nos tratamentos em relação à testemunha no 1º corte (Tabela 6).

Observou-se, também, com os dados obtidos no primeiro corte, efeito significativo entre as fontes de material corretivo e também na interação fontes e doses de material corretivo, indicando que os efeitos das fontes no teor de Si dependem das doses aplicadas (Tabela 6).

Pela interação fontes e doses de material corretivo no teor de Si, observou-se efeito quadrático ($P < 0,01$) para o calcário, sendo a dose $4,33 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 a que proporcionou maior teor do elemento nas plantas ($8,9 \text{ g kg}^{-1}$) e, incremento linear ($P < 0,01$), com o uso da escória de siderurgia. A maior dose de escória aplicada no solo, proporcionou teor de silício nas plantas de $11,3 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 16d). Este efeito positivo das doses de Si provenientes da escória para a concentração de silício no tecido da forrageira, concordam, parcialmente, com FORTES (2006) que observou efeito significativo (ajuste linear) no teor de Si no capim-marandu em função da aplicação de silicato de cálcio e magnésio apenas no segundo corte. Pois, no presente trabalho a escória promoveu incremento linear no teor de Si no primeiro corte, pois, a escória foi incorporada 90 dias antes do plantio da forrageira, enquanto no trabalho de FORTES (2006) o período de incubação foi de apenas 30 dias antes do plantio.

Tendo em vista a indicação de MA et al. (2001) para a concentração mínima de Si para uma planta ser considerada acumuladora ($10,0 \text{ g kg}^{-1}$), apenas os tratamentos com escória poderiam classificar a *Brachiaria brizantha* como acumuladora de Si. Todavia, vale ressaltar que os teores tomados como referência por esses autores são apenas do tecido foliar e os resultados apresentados no presente estudo são provenientes da parte aérea, incluindo lâminas foliares, bainhas e colmos. Segundo KORNDÖRFER et al. (2005), o Si se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração, logo, acredita-se que, se fosse realizada análise apenas das folhas como considera MA et al. (2001), poderiam ser obtidos valores mais elevados.

A ausência de resposta na produção de massa seca do capim-marandu no primeiro corte, provavelmente, ocorreu devido ao teor de silício alcançado com a escória de siderurgia ($11,3 \text{ g kg}^{-1}$), pois, MELO (2005), estudando o capim-marandu em Latossolo Vermelho-amarelo distrófico com aplicação de fósforo e silício na forma de wollastonita, verificou máxima produção de massa seca com teor de $15,1 \text{ g kg}^{-1}$ de Si na parte aérea das plantas no primeiro corte.

No 2º corte, verificou-se decréscimo de 46% no teor de Si nas plantas dos tratamentos em relação à testemunha no segundo corte (Tabela 7).

Foi observado diferença entre as fontes de material corretivo, e também, efeito significativo das interações fontes e doses de material corretivo e, doses de material corretivo associadas às doses de nitrogênio.

Para interação fontes e doses de material corretivo no 2º corte, observou-se efeitos lineares crescente e decrescente ($P < 0,01$), respectivamente, para a escória de siderurgia e para o calcário (Figura 17c) no teor de Si nas plantas. A maior dose da escória promoveu teor de $8,0 \text{ g kg}^{-1}$ de Si nas plantas, teor suficiente para obter resposta na produção de massa seca no segundo corte (Figura 14), visto que FORTES (2006) observou a maior produção de massa seca para o capim-marandu quando atingiu o teor de $6,9 \text{ g kg}^{-1}$ de Si nas plantas.

KORNDÖRFER, C. et al. (2001), estudando o efeito da aplicação superficial de silicato de cálcio em uma pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* em área de cerrado, constataram elevação dos teores de Si de $8,0$ para $15,2 \text{ g kg}^{-1}$ nas doses 0 e $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de silicato de cálcio.

Quanto à interação das doses de material corretivo e de nitrogênio no teor de silício nas plantas do capim-marandu no 2º corte, não houve ajuste ao modelo de superfície de resposta a 10% de probabilidade. Com isso, ao analisar o efeito isolado das doses de nitrogênio, detectou-se decréscimo no teor de Si nas plantas do capim-marandu à medida que aumentavam as doses de N no 2º corte. Provavelmente, o decréscimo no teor de Si nas plantas do 2º corte, pode ser atribuído ao efeito diluição provocado pelo N. Assim, o incremento na produção de massa seca da parte aérea, em virtude do aumento das doses de N, não foi acompanhado de uma absorção de Si na mesma proporção, ocorrendo diminuição do teor desse elemento nas plantas. Comportamento semelhante foi apresentado por MAUAD et al. (2003), que obtiveram em plantas de arroz, teores de Si mais pronunciados quando a adubação nitrogenada foi baixa, sendo esses resultados explicados pela competição que existe entre o H_3SiO_4^- e o NO_3^- pelos sítios de absorção da planta, conforme foi relatado por WALLACE (1989).

4.3.2. Acúmulo de macronutrientes e de silício

Na análise dos acúmulos de macronutrientes do tecido vegetal, observou-se, que todos os nutrientes apresentaram efeito significativo dos tratamentos sobre a testemunha, exceto o potássio no 2º corte. Assim, a aplicação dos materiais corretivos e do nitrogênio incrementou o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nas plantas em 449, 119, 128, 161, 509, 250%, respectivamente, em relação à testemunha no 1º corte e, no 2º corte, aumento foi de 676, 400, 653, 1381, 403%, respectivamente, para o acúmulo de N, P, Ca, Mg e S (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8. Efeitos dos tratamentos no acúmulo de macronutrientes e de silício nas plantas de *Brachiaria brizantha* – 1º corte.

Fontes (F)	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
g por planta							
Calcário Dolomítico	41,3	4,7	39,1	7,4	6,6	3,5	10,6
Escória de Siderurgia	39,0	4,5	38,0	7,3	6,9	3,5	14,5
Teste F	1,61 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,00 ^{NS}	40,17 ^{**}
dms (Tukey 5%)	3,73	0,5	3,38	0,72	0,69	0,32	1,25
Doses de Material Corretivo (DMC)							
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	43,7	5,3	42,3	7,7	6,0	3,8	12,3
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	38,8	4,5	36,9	7,2	6,4	3,3	12,8
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	37,9	4,0	36,5	7,1	7,7	3,3	12,5
Teste F	3,63 [*]	9,70 ^{**}	4,84 [*]	0,95 ^{NS}	9,46 ^{**}	5,94 ^{**}	0,23 ^{NS}
Doses de Nitrogênio (N)							
D1 (75 mg dm ⁻³)	26,6	3,8	34,7	5,1	4,5	2,6	10,6
D2 (150 mg dm ⁻³)	42,9	4,9	41,1	7,7	7,2	3,7	12,6
D3 (300 mg dm ⁻³)	50,9	5,1	39,9	9,2	8,5	4,1	14,4
Teste F	59,27 ^{**}	10,47 ^{**}	5,57 ^{**}	46,2 ^{**}	47,45 ^{**}	29,06 ^{**}	12,24 ^{**}
Testemunha	7,3	2,1	16,9	2,8	1,1	1,0	8,3
Tratamentos	40,1	4,6	38,6	7,3	6,7	3,5	12,6
Teste F							
(F) X (DMC)	3,76 [*]	2,53 ^{NS}	3,02 ^{NS}	0,87 ^{NS}	3,39 [*]	0,16 ^{NS}	5,60 ^{**}
(F) X (N)	4,62 [*]	0,75 ^{NS}	0,56 ^{NS}	1,87 ^{NS}	2,76 ^{NS}	3,01 ^{NS}	7,20 ^{**}
(DMC) X (N)	4,82 ^{**}	2,18 ^{NS}	5,06 ^{**}	5,20 ^{**}	5,30 ^{**}	2,79 ^{**}	2,75 [*]
(F) X (DMC) X (N)	3,12 [*]	1,01 ^{NS}	4,62 ^{**}	3,13 [*]	3,32 [*]	4,65 ^{**}	1,64 ^{NS}
Tratamentos vs Testemunha	65,53 ^{**}	22,66 ^{**}	34,83 ^{**}	33,28 ^{**}	57,08 ^{**}	48,47 ^{**}	9,91 ^{**}
CV (%)	20,6	23,2	19,1	21,4	22,7	20,3	21,4

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

Pelos dados obtidos (Tabelas 8 e 9), pôde-se verificar, que não houve diferença entre as fontes de material corretivo no 1º corte, evidenciando semelhança entre o uso de calcário dolomítico e de escória de siderurgia no acúmulo de macronutrientes no tecido vegetal do capim-marandu. Entretanto, no 2º corte, apenas para o acúmulo de K e Mg nas plantas, não houve diferença entre as fontes de material corretivo. Já em se tratando das doses dos materiais corretivos, houve diferença em todos os macronutrientes acumulados no capim-marandu, exceto para o cálcio no 1º corte e enxofre no 2º corte.

PRADO et al. (2002b) também não obtiveram diferença significativa entre o calcário calcítico e a escória de siderurgia, bem como encontraram efeito significativo das doses desses materiais corretivos no acúmulo de macronutrientes na parte aérea da cana-soca.

Tabela 9. Efeitos dos tratamentos no acúmulo de macronutrientes e de silício nas plantas de *Brachiaria brizantha* – 2º corte.

Fontes (F)	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	g por planta						
Calcário Dolomítico	52,4	6,5	21,0	23,0	24,5	5,1	11,7
Escória de Siderurgia	49,1	6,0	20,5	20,1	23,5	4,3	16,5
Teste F	5,94*	5,98*	0,43 ^{NS}	21,48**	1,32 ^{NS}	28,40**	63,30**
dms (Tukey 5%)	2,66	0,40	1,78	1,26	1,61	0,30	1,21
Doses de Material Corretivo (DMC)							
D1 (1,61 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	52,5	6,7	21,4	22,8	16,0	4,6	14,0
D2 (3,22 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	48,4	6,4	17,7	21,5	23,4	4,8	13,2
D3 (6,44 t ha ⁻¹ ECaCO ₃)	51,3	5,7	23,1	20,5	32,6	4,8	15,0
Teste F	3,46*	7,66**	12,64**	4,57*	143,62**	0,42 ^{NS}	2,80 ^{NS}
Doses de Nitrogênio (N)							
D1 (100 mg dm ⁻³)	26,5	5,0	24,9	13,9	16,2	3,1	14,9
D2 (200 mg dm ⁻³)	47,4	6,9	18,3	23,6	27,2	4,9	13,1
D3 (400 mg dm ⁻³)	78,4	7,0	19,0	27,2	28,6	6,2	14,2
Teste F	514,48**	43,17**	21,84**	159,53**	94,27**	150,66**	3,13 ^{NS}
Testemunha	6,5	1,4	21,1	2,9	1,6	0,9	9,0
Tratamentos	50,8	6,3	20,7	21,6	24,0	4,7	14,1
Teste F							
(F) X (DMC)	3,12 ^{NS}	5,24**	3,80*	0,48 ^{NS}	35,09**	7,49**	48,06**
(F) X (N)	1,19 ^{NS}	0,97 ^{NS}	0,55 ^{NS}	2,71 ^{NS}	3,08 ^{NS}	1,14 ^{NS}	1,93 ^{NS}
(DMC) X (N)	1,76 ^{NS}	1,71 ^{NS}	11,39**	1,33 ^{NS}	32,54**	2,43 ^{NS}	7,21**
(F) X (DMC) X (N)	2,78*	3,19*	7,44**	1,59 ^{NS}	10,40**	7,57 ^{NS}	5,55**
Tratamentos vs Testemunha	233,55**	123,25**	0,03 ^{NS}	187,86**	162,77**	135,16**	14,72**
CV (%)	11,6	14,1	18,1	12,9	15,0	14,0	18,5

**, * e ^{NS} - Significativo a nível de 1% e 5% de probabilidade, e não significativo respectivamente.

Para o acúmulo de N nas plantas no 1º corte, a interação entre todos os fatores estudados foi significativa. Pela interação fontes e doses de material corretivo, observou-se diferença apenas para o calcário, apresentando modelo linear decrescente ($P < 0,05$) quando se aumentaram as doses de material corretivo (Figura 22a). Portanto, a menor dose de material corretivo aplicada ($1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3), ou seja, a metade da dose recomendada, foi suficiente para obter o maior acúmulo de nitrogênio nas plantas ($43,7 \text{ g de N por planta}$). Provavelmente, como as braquiárias são plantas tolerantes nas condições de acidez no solo, as altas doses de calcário afetaram negativamente a produção de massa seca da forrageira (Tabela 4), podendo ter provocado uma desordem nutricional, diminuindo a absorção dos micronutrientes e, conseqüentemente, afetando negativamente a absorção de N pelas plantas.

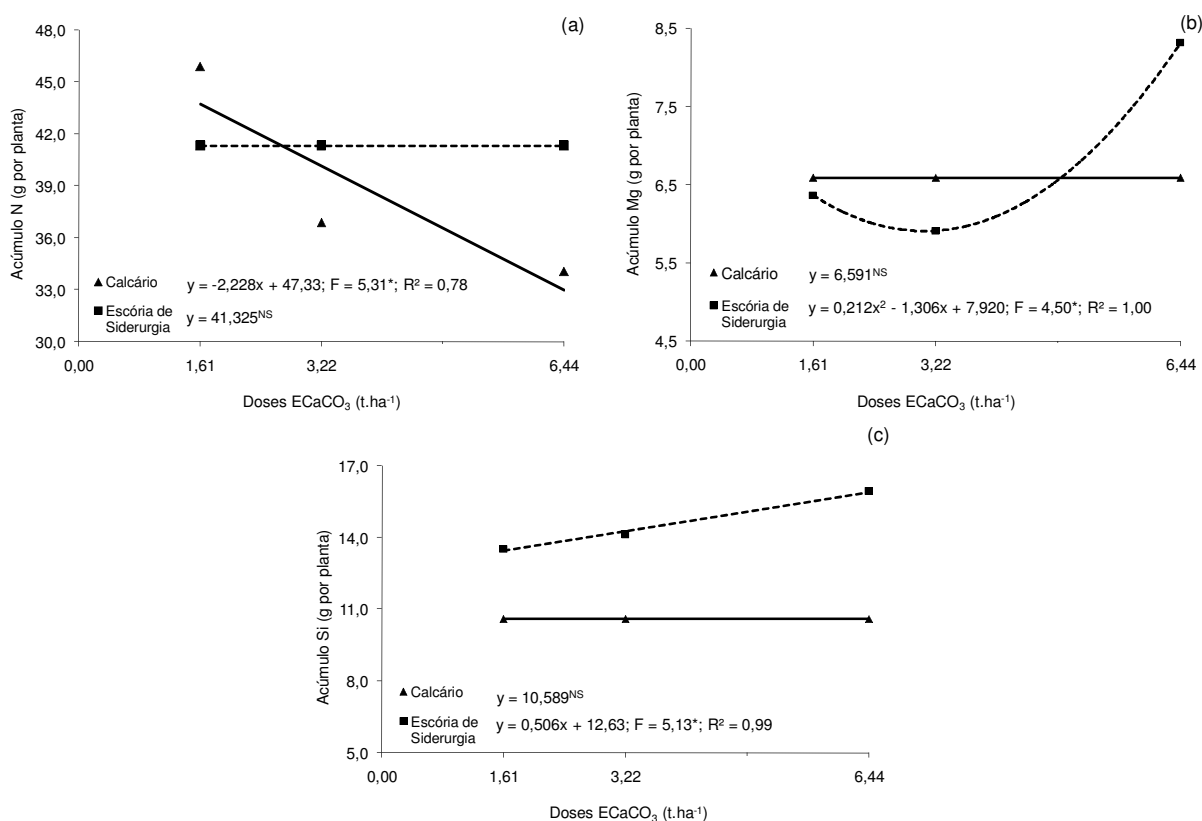


Figura 22. Efeito das fontes e doses de material corretivo no acúmulo de N (a), Mg (b) e Si (c) nas plantas de *Brachiaria brizantha* após o primeiro corte, em função de doses de material corretivo. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Em se tratando da interação fontes de material corretivo e doses de nitrogênio no acúmulo de N, obteve-se ajuste ao modelo quadrático ($P < 0,05$) para o calcário, atingindo o ponto máximo na dose de $226 \text{ mg de N dm}^{-3}$ ($49,57 \text{ g por planta de N}$). Por outro lado, a escória de siderurgia apresentou efeito linear crescente ($P < 0,01$) quando se aumentaram as doses de nitrogênio (Figura 23a). A adubação nitrogenada na presença do silicato foi mais eficiente no incremento da absorção de N pelas plantas do que sem silicato ou na presença do calcário. Assim, o uso da maior dose de N na presença de Si garantiu maior absorção de N. Então, pôde-se inferir que o Si aumentou a absorção de N, apresentando comportamento sinérgico entre os elementos, haja vista, que houve uma correlação positiva da absorção de nitrogênio com a absorção de Si pelo capim-marandu (Figura 24).

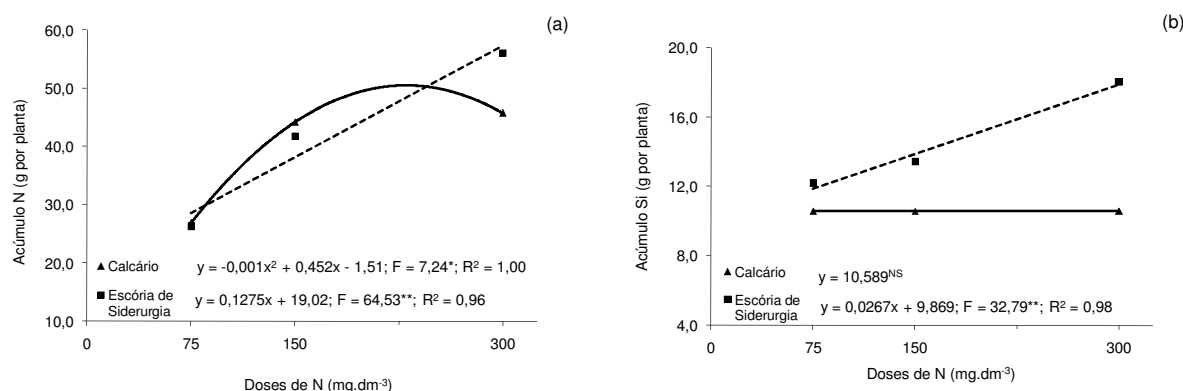


Figura 23. Efeito das fontes de material corretivo e doses de nitrogênio no acúmulo de N (a) e Si (b) nas plantas de *Brachiaria brizantha* após o primeiro corte, em função das doses de nitrogênio. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

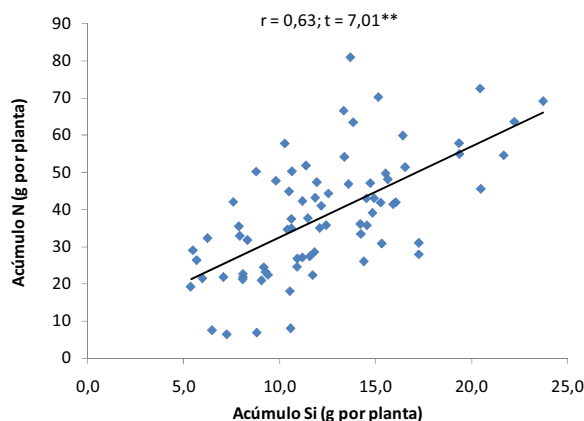


Figura 24. Relação entre o acúmulo de N e de Si pelas plantas de *Brachiaria brizantha* em todos os tratamentos no primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Para a interação doses de material corretivo e doses de nitrogênio, não houve efeito significativo a 10% de probabilidade para o modelo de superfície de resposta na absorção de N pelas plantas de capim-marandu no 1º corte.

No 2º corte, como as interações entre os fatores no acúmulo de N não foram significativas, analisou-se os fatores isoladamente e observou-se que houve diferença entre as fontes de material corretivo (Tabela 9), evidenciando maior acúmulo desse elemento ($N = 52,4$ g por planta) para o calcário. Já para as doses de material corretivo, observou-se comportamento quadrático ($\text{Acúmulo N} = 0,724\text{ECaCO}_3^2 - 6,079 \text{ECaCO}_3 + 60,454$; $F = 4,99^*$; $R^2 = 1,00$) para o acúmulo de N nas plantas. Pôde-se constatar que a menor dose de material corretivo, ou seja, $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 , esteve associada ao maior acúmulo de N nas plantas, o que possivelmente, está relacionado ao efeito desse tratamento na produção de massa seca (Tabela 5). Em se tratando das doses de nitrogênio, o comportamento foi o inverso para esse nutriente; apresentando incremento linear no acúmulo de N nas plantas ($\text{Acúmulo N} = 0,170N + 11,044$; $F = 880,69^{**}$; $R^2 = 0,99$).

Para o acúmulo de fósforo nas plantas no 1º corte, verificou-se efeito das doses de material corretivo seguindo o modelo linear decrescente ($\text{Acúmulo P} = -0,255\text{ECaCO}_3 + 5,540$; $F = 14,42^{**}$; $R^2 = 0,92$) com as doses de material corretivo. Houve, também, efeito significativo das doses de nitrogênio no acúmulo de P na planta, obtendo comportamento quadrático ($\text{Acúmulo P} = -6\text{E-}05^2 + 0,027 \text{ECaCO}_3 + 2,070$; $F = 6,14^*$; $R^2 = 1,00$) à medida que se aumentavam as doses de N, sendo a dose $225 \text{ mg de N dm}^{-3}$ a que proporcionou maior acúmulo desse elemento na planta.

No 2º corte, quanto ao acúmulo de fósforo no capim-marandu, verificou-se que apenas a interação fontes e doses de material corretivo foi significativa (Tabela 9), na qual se observou, com o aumento das doses de calcário e escória de siderurgia, decréscimo linear ($P < 0,05$) na absorção de P pelas plantas (Figura 25a).

MELO (2005), ao estudar a interação Si e P em capim-marandu, verificou que a maior dose de silício (450 mg dm^{-3}) resultou em maior acúmulo de fósforo, obtendo valores 11,75 a 90,25 mg de P por vaso no segundo corte do capim-marandu.

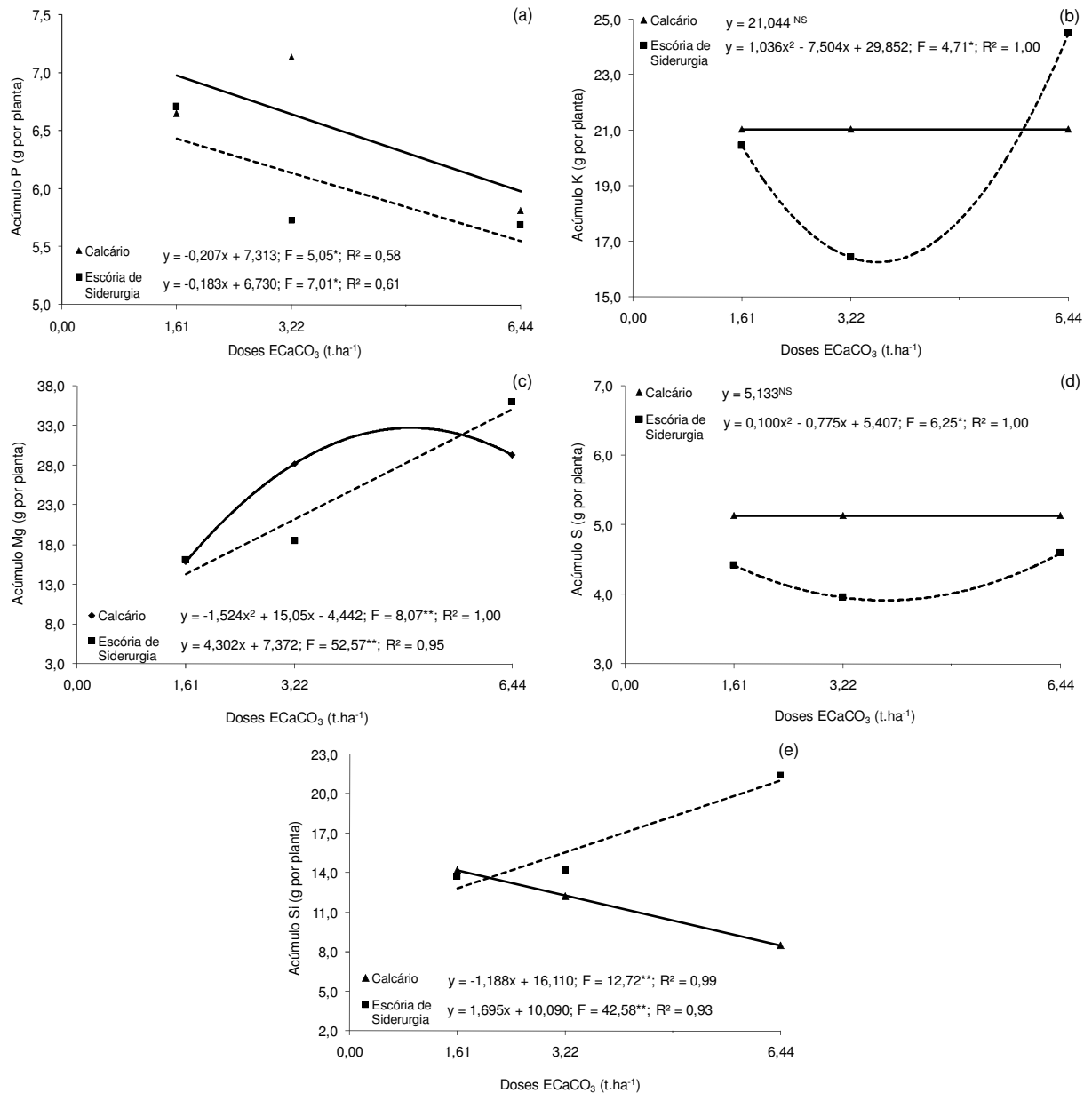


Figura 25. Efeito das fontes e doses de material corretivo no acúmulo de P (a), K (b), Mg (c), S (d) e Si (e) nas plantas de *Brachiaria brizantha* após o segundo corte, em função de doses de material corretivo. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Para os acúmulos de K, Ca e S nas plantas no 1º corte, houve efeito significativo da interação das doses de material corretivo e das doses de nitrogênio. Entretanto, não se observou ajuste ao modelo de superfície de resposta ao nível de 10% de significância para esses elementos.

No 2º corte, quanto ao acúmulo de potássio nas plantas do capim-marandu, as interações fontes e doses de material corretivo e, doses de material corretivo associadas às doses de nitrogênio foram significativas. Verificou-se que o aumento das doses de calcário apresentou efeito não significativo para o acúmulo de K, entretanto, ao aumentarem as doses de escória de siderurgia, observou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) no acúmulo de K nas plantas, sendo a dose $6,44 \text{ t ha}^{-3}$ de ECaCO_3 a que proporcionou maior absorção desse elemento no capim-marandu (Figura 25b). Em relação à interação das doses de material corretivo e doses de nitrogênio, não houve ajuste ao modelo de superfície de resposta a 10% de probabilidade para o acúmulo de K.

Em se tratando do acúmulo de Ca nas plantas no 2º corte, como as interações entre os fatores não foram significativas, analisou-se os fatores isoladamente, e observou-se que houve diferença entre as fontes de material corretivo (Tabela 9), evidenciando maior acúmulo desse elemento ($\text{Ca} = 23,0 \text{ g por planta}$) para o calcário. Já em relação às doses de material corretivo, observou-se efeito linear decrescente ($\text{Acúmulo Ca} = -0,453\text{ECaCO}_3 + 23,300$; $F = 7,04^{**}$; $R^2 = 0,92$) para o acúmulo de Ca nas plantas. Pôde-se constatar que a menor dose de material corretivo, ou seja, $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 , esteve associada ao maior acúmulo de Ca nas plantas, o que possivelmente, está relacionado ao efeito desse tratamento na produção de massa seca (Figura 14). Para as doses de nitrogênio, o comportamento foi o inverso para esse nutriente; apresentando incremento linear no acúmulo de Ca nas plantas ($\text{Acúmulo Ca} = 0,040\text{N} + 12,163$; $F = 205,29^{**}$; $R^2 = 0,81$).

No 2º corte, quanto ao acúmulo de enxofre nas plantas, verificou-se que apenas a interação fontes e doses de material corretivo foi significativa (Tabela 9). Observou-se efeito não significativo no acúmulo de S nas plantas com aplicação de calcário e, efeito quadrático para o acúmulo desse nutriente com o uso da escória de siderurgia ($P < 0,05$) (Figura 25d). A dose de escória $6,44 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 foi a que proporcionou maior acúmulo de S no capim-marandu.

Quanto ao acúmulo de Mg nas plantas no 1º corte, pôde-se notar efeito significativo na interação fontes e doses de material corretivo. Todavia, apenas as

doses de escória de siderurgia proporcionaram diferença no acúmulo de Mg, apresentando modelo polinomial quadrático negativo ($P < 0,05$), onde a dose $6,44 \text{ t ha}^{-1}$ de ECaCO_3 foi a que proporcionou maior acúmulo desse elemento nas plantas ($8,32 \text{ g por planta}$) (Figura 22b). E ainda para esse nutriente, observou-se efeito significativo da interação doses de material corretivo e de nitrogênio, sendo as doses máximas, as que proporcionaram maior acúmulo de Mg no capim-marandu ($11,54 \text{ g por planta}$) (Figura 26).

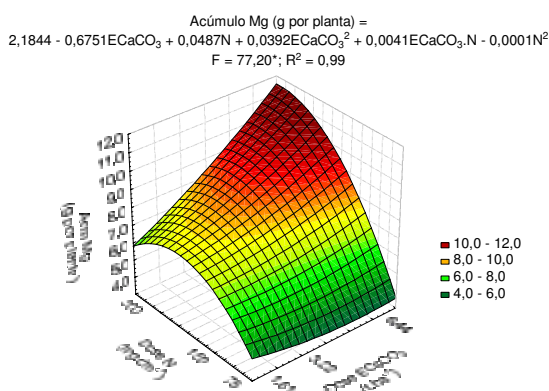


Figura 26. Superfície de resposta em função de doses de material corretivo e doses de nitrogênio no acúmulo de Mg nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o primeiro corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

No 2º corte, para o acúmulo de magnésio no capim-marandu, as interações fontes e doses de material corretivo e, doses de material corretivo associadas às doses de nitrogênio foram significativas. Verificou-se que o aumento das doses de calcário apresentou efeito quadrático para o acúmulo de Mg ($P < 0,01$), entretanto, com emprego das doses de escória de siderurgia, observou-se efeito linear crescente ($P < 0,01$) (Figura 25c). Em relação à interação das doses de material corretivo e de nitrogênio, a combinação das maiores doses de material corretivo e nitrogênio, promoveram o maior acúmulo de Mg nas plantas ($44,3 \text{ g de Mg por planta}$) (Figura 27).

A resposta positiva no acúmulo de macronutrientes na *Brachiaria brizantha* em relação à aplicação de materiais corretivos era esperada em função da melhoria do ambiente radicular, pois, com a neutralização da acidez do solo, houve aumento da

disponibilidade dos nutrientes, possibilitando a proliferação intensa das raízes, com reflexos positivos no crescimento da gramínea.

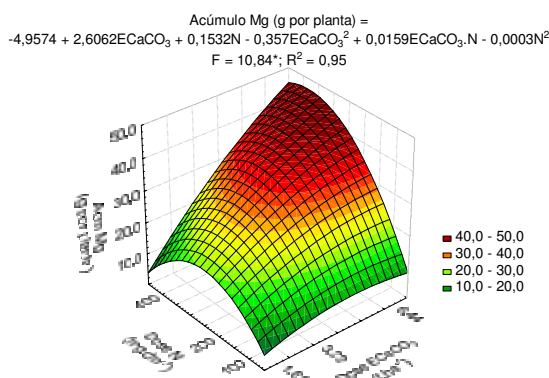


Figura 27. Superfície de resposta em função de doses de material corretivo e doses de nitrogênio no acúmulo de Mg nas plantas de *Brachiaria brizantha*, após o segundo corte. FCAV/Unesp, Jaboticabal-SP, 2006.

Para o acúmulo de Si no capim-marandu, verificou-se acréscimo de 52 e 57% nos tratamentos em relação à testemunha no primeiro e segundo cortes, respectivamente (Tabelas 8 e 9). Este incremento obtido no acúmulo de Si na forrageira, permitiu inferir que a diminuição encontrada no teor de Si nas plantas (Tabela 6) foi em função do efeito diluição.

De acordo com as tabelas 8 e 9, notou-se diferença entre as fontes de material corretivo nos dois cortes da forrageira, indicando que os efeitos das fontes no acúmulo de Si dependem das doses aplicadas. Como era esperado, o uso da escória de siderurgia promoveu maior acúmulo desse elemento, pois, incrementou significativamente a concentração de Si no solo ($9,06 \text{ mg dm}^{-3}$), haja vista que, em sua composição há o Si que se encontra na forma fitodisponível. Estes resultados concordam com outros autores que indicaram que a aplicação da escória de siderurgia incrementou a absorção de Si em plantas de cana-de-açúcar (ANDERSON, 1991, RAID et al., 1992).

Pela interação fontes e doses de material corretivo na absorção de Si pelas plantas no 1º corte, verificou-se efeito significativo ($P < 0,05$) apenas para as doses de escória de siderurgia, ajustando-se ao modelo linear crescente (Figura 22c). Quanto à

interação fontes de material corretivo e doses de nitrogênio, também foi observado incremento linear ($P < 0,01$) apenas com a aplicação de escória de siderurgia em função das doses de N (Figura 23b). Salienta-se que este incremento ocorreu devido a maior produção de massa seca obtida com as doses de N (Tabela 4), uma vez que o N participa de diversos processos fisiológicos na planta. Já pela interação doses de material corretivo e doses de nitrogênio, não se observou ajuste significativo ao modelo de superfície de resposta a 10% de probabilidade (Tabela 8).

MELO et al. (2003), estudando o acúmulo de Si nas espécies de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* em resposta à adubação silicatada, observaram acúmulo crescente em três cortes realizados nas forrageiras, e que, na média, a *B. decumbens* (112,0 mg por vaso) acumulou mais silício quando comparada com a *B. brizantha*, (105,4 mg por vaso). Esses mesmos autores verificaram em relação às doses de silício aplicadas (0 e 1452 kg ha⁻¹), aumento no acúmulo de Si de 47,5 e 150,3 mg por vaso, respectivamente.

No 2º corte, a interação fontes e doses de material corretivo, também, foi significativa, observando efeito linear decrescente ($P < 0,01$) para o calcário e efeito linear crescente ($P < 0,01$) com o uso da escória de siderurgia (Figura 25e).

Notou-se, ainda, efeito significativo das doses de material corretivo e de nitrogênio no acúmulo de silício nas plantas do capim-marandu no 2º corte, contudo, não houve ajuste significativo a 10% de probabilidade para o modelo de superfície de resposta aplicado (Tabela 9).

O incremento na produção de massa seca da parte aérea, em virtude do aumento das doses de N (Figura 13), não foi acompanhado de uma absorção de Si na mesma proporção (Figura 25e), ocorrendo diminuição do teor desse elemento nas plantas (Figura 17c). Comportamento semelhante foi apresentado por MAUAD et al. (2003), que obtiveram em plantas de arroz, teores de Si mais pronunciados quando a adubação nitrogenada foi baixa, sendo esses resultados explicados pela competição que existe entre o H_3SiO_4^- e o NO_3^- pelos sítios de absorção da planta, conforme foi relatado por WALLACE (1989).

V. CONCLUSÕES

A escória de siderurgia promove aumentos na concentração de Si no solo.

A presença ou não de Si no material corretivo quando associado à adubação nitrogenada não interfere na concentração de Si no solo.

Os materiais corretivos diferenciaram-se apenas no 2º corte, destacando-se a escória de siderurgia com incremento linear na absorção de Si e na produção de massa seca pelo capim-marandu.

A adubação nitrogenada associada à escória de siderurgia também incrementa a produção de massa seca e a absorção de Si pelo capim-marandu.

O uso da escória de siderurgia, como fonte de silício e material corretivo, mostra-se adequado ao cultivo da forrageira.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. B. R. de. **Níveis de nitrogênio e proporção de nitrato e amônio afetando produção, atividade de redutase do nitrato e composição de três gramíneas forrageiras.** 1994. 109f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

ABREU, J. B. R. de.; MONTEIRO, F. A. Produção e nutrição do capim-marandu em função de adubação nitrogenada e estádios de crescimento. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 56, n. 2, p. 137-146, 1999.

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

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A.; VERNEQUE, R. S.; SALVATI, J. A. Aplicação de nitrogênio em acessos de Brachiaria. Efeito sobre a produção de matéria seca. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 12, n. 2, p. 2-6, 1990.

AMARAL, A. S.; DEFELIPO, B. V.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F.. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1351-1358, 1994.

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interaction following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, The Netherlands, v. 30, n. 1, p. 9-18, 1991.

ARANTES, V. A. **Aplicação de silício para arroz de sequeiro cultivado em material de quatro solos fase cerrado**. 1997. 42f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1997.

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.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 127 p.

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 Agronômico, 1983, 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BIRCHALL, J. D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, v. 24, n. 5, p. 351-357, 1995.

BONFIM, E. M. S.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 281-288, 2004.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito da escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 938-943, 2003.

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

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

CORSI, M.; NUSSIO, L. G. Manejo do capim-elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS. 10., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1992. p. 87-115.

CRUZ, M. C. P. da; FERREIRA, M. E.; LUCHETTA, S. Efeito da calagem sobre a produção de matéria seca de três gramíneas forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1303-1312, 1994.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, London, v. 16, n. 6, p. 525-531, 1997.

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, n. 3, p. 733-737, 1994.

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

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do triângulo mineiro**. Rio de Janeiro, 1982. 526 p (Boletim Técnico, 1).

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

ESTAT: **Sistema de análises estatísticas**. DCE – FCAV/UNESP, 1994.

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. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

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

GHISI, O. M.; PEDREIRA, J. V. S. Características agronômicas das principais *Brachiaria* spp. In: PEDREIRA, J. V. S.; MEIRELES, N. M. F. (Ed.). ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO *BRACHIARIA*, Nova Odessa, 1987. **Anais...** Nova Odessa, SP: Instituto de Zootecnia, 1987. p. 97-115.

GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de tipos de escoria de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 173-179, 1965.

GUTIÉRREZ, A.; PARETAS, J. J.; SUÁREZ, J. D. **Genero brachiaria, una nueva alternativa para la ganadería cubana**. Havana: Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, 1990. 64 p. (IIPF. Documento de Campo, s/n).

HODSON, M. J.; EVANS, D. E. Aluminum silicon interactions in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 161-171, 1995.

HOFFMANN, C. R. **Nutrição mineral e crescimento de braquiária e de colônia, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em Latossolo de região noroeste do Paraná**. 1992. 204f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag in water and calcium chloride solution: Effects of solution pH and calcium concentration on solubilities of slags. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v. 67, p. 626-632, 1996.

KHALID, R. A.; SILVA, J. A.; FOX, R. L. Residual effects of calcium silicate in tropical soil. I-Fate of applied silicon during five years cropping. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, n. 1, p. 89-94, 1978.

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.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 563-596.

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

KORNDÖRFER, 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 Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; UCHOA, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, p.1071-1084, 2001.

KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; LANA, R. M. Q.; CORRÊA, G. F.; JUNQUEIRA NETO, A. A. Correção da acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001. Londrina. **Anais...** Londrina: SBCS, 2001. p.144.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002.-(GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico; 01) 23p.

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

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; RAMOS, L. A. Available silicon tropical soils cropyeld. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 77-84.

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

LANGER, R. H. M. Tillering in herbage grasses. **Herbages abstract**. v. 33, p. 141-148, 1963.

LANNING, F. C.; ELEUTERIUS, L. N. Silica and ash in tissues of some plants growing in the coastal area of Mississippi, USA. **Annals of Botany**, v. 56, p. 157-172, 1985.

LAUDE, H. M. External factors affecting tiller development. In: YOUNGNER, V. B.; McKELL, C. M. (Ed). **The biology and utilization of grasses**. New York: Academic Press, 1972. p. 146-154.

LAVRES JÚNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-Mombaça**. 2001. 155f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 84f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

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

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2., 2001, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema cerrado: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGEM NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS: PESQUISA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 1., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p. 28-62.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M. E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: FEALQ, 1983. p. 95-143.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 867-873, 2003.

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

MELO, F. A. F. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. 1., 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Cargill, 1984. p. 67-92.

MELO, S. P.; KORNDÖRFER, G. H.; KORNDÖRFER, C. M.; LANA, R. M. Q.; SANTANA, D. G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 755-759, 2003.

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.

MESQUITA, E. E.; PINTO, J. C.; NETO, A. E. F.; SANTOS, I. P. A.; TAVARES, V. B. Teores críticos de fósforo em três solos para o estabelecimento de capim-mombaça, capim-marandu e capim-andropogon em vasos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 290-301, 2004.

MIYAKE, Y. The effect of silicon on the grow of the different groups of rice (*Oryza sativa*) plants. **Scientific Report of the Faculty of Agriculture**, Okayama, v. 8, n. 1, p. 101-105, 1992.

MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D. de; ABREU, J. B. R. de; DAIUB, J. A. S.; SILVA, J. E. P. da; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 135-141, 1995.

MONTEIRO, F. A.; EUCLIDES, V. P. B. Adubação de plantas forrageiras na produção e qualidade forrageira. In: VOLUMOSOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1., 2005, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 2005. p. 159-186.

NUNES, S. G.; BOOK, A.; PENTEADO, M. I. O.; GOMES, D. T. **Brachiaria brizantha cv. Marandu**. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1985. 31p. (EMBRAPA.CNPGC. Documento, 21).

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

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.; KORNDORFER, G. H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 239-247, 2007.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 124f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

PINTO, J. C. **Nitrogênio e métodos de semeadura no rendimento de semente de *Paspalum guenoarum* Arech.** 1982. 140f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.

PINTO, J. C.; GOMIDE, J. A.; MAESTRI, M.; LOPES, N. F. Crescimento de folhas de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas em vasos sob duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa, v. 23, p. 327-332, 1994.

PLUCKNETT, D. L. The use of soluble silicates in Hawaii agriculture. **University Queenl. Pap.**, p. 203-223, 1971.

PORZECANSKI, I.; GHISI, O. M. A. A.; GARDNER, A. L.; FRANÇA-DANTAS, M. S. **The adaptation of tropical pasture species to a Cerrado environment**. Campo Grande, EMBRAPA, CNPGC, 1979. 3 p.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo vermelho-escuro e na areia quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 2, p. 235-242, 1999.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001a.

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

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.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002a.

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 Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002b.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; CINTRA, A. C. O.; NATALE, W. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 160-163, 2003.

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**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 140-144, 2004.

PREMAZZI, L. M. **Saturação por bases como critério para recomendação de calagem em cinco forrageiras tropicais.** 1991. 215f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

PULZ, A. L. **Estresse hídrico e adubação silicatada em batata (*Solanum tuberosum* L.) cv. Bintje.** 2007. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

QUAGGIO, J. A. **A acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 111 p.

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.

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

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

RAYMAN, P. R. **Minha experiência com *Brachiaria brizantha*.** Campo Grande, Rayman's Seeds Sementes de Pastagens Tropicais, 1983, 3 p.

RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo da acidez. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 33, n. 187, p. 242-248, 1986.

ROSSI, C.; FAQUIM, V.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Calagem e fontes de fósforo na produção do braquiário e níveis críticos de fósforo em amostras de Latossolo dos campos das vertentes (MG). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 1083-1089, 1997.

RYLE, G. J. A. Effects of two level of applied nitrogen on the growth of S₃₇ cocksfoot in small simulated swards in a controlled environment. **Journal of the British Grassland Society**, v. 25, p. 20-29, 1970.

SANCHES, A. B. **Efeitos do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-braquiário [*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.

SANTOS, A. R. **Diagnose nutricional e respostas do capim braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre.** 1997. 115f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1997.

SANTOS, I. P. A. **Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de braquiário e amendoim forrageiro consorciados.** 1999. 158f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

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

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

SIQUEIRA, C. Calagem para plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS. 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ABPPF, 1986. p. 77-92.

SKERMAN, P. J.; RIVEROS, F. **Tropical grasses**. Rome: Fao, 1990. 832 p.

SMYTH, T. J.; SANCHEZ, P. A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 500-505, 1980.

SNYDER, G. H.; JONES, D. B.; GASCHO, G. J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1259-1263, 1986.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. 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.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. J.; BEATON, J. D. **Soil Fertility and Fertilizers**. Macmilan Publishing Company: New York, 1993.

TRÉGUER, P.; NELSON, D. M.; BENNEKOM, A. J. van; DeMASTER, D. J.; LEYNAERT, A.; QUÉGUINER, B. The silica balance in the world ocean: a reestimate. **Science**, Washington, v. 268, n. 5207/5209, p. 375-379, 1995.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P.; MACEDO, M. C. M. Características de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM. 17., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 133-176.

VALLS, J. F. M.; SENDULSKI, T. Descrição botânica. In: VALLS, J. F. M. **Carta, 6 de julho de 1984**. Brasília, para Saladino G. Nunes, Campo grande, MS, p. 4-6.

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.

WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon and heavy metal uptake by plants. **Soil Science**, Baltimore, v. 147, n. 6, p. 457-460, 1989.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O.; QUAGGIO, J. A. Recomendação de adubação e calagem para forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agronômico. 1997. p. 261-274. (Boletim técnico, 100).

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. (ed.). **Encyclopedia of plant physiology. New Series**, Berlin: Springer-Verlag, v. 15B, p. 682-694, 1983.

WILD, A. **Russel's soil conditions and plant growth**. 11 ed. London: Longman, 1988. 991p.

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.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; BARCELLOS, A. de O.; KICHEL, A. N. Estabelecimento e recuperação de Brachiaria. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 153-208.