

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DO ARROZ: FONTE
DE SILÍCIO E A INTERAÇÃO COM O NITROGÊNIO

Anelisa de Aquino Vidal
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Dezembro de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DO ARROZ: FONTE
DE SILÍCIO E A INTERAÇÃO COM O NITROGÊNIO

Anelisa de Aquino Vidal

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Co-orientador: Prof. Dr. William Natale

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Dezembro de 2008

V648e Vidal, Anelisa de Aquino
Escória de siderurgia na cultura do arroz e interação com o nitrogênio / Anelisa de Aquino Vidal. -- Jaboticabal, 2008
xiii, 110 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008

Orientador: Renato de Mello Prado

Banca examinadora: Gaspar Henrique Korndörfer, Dirceu Maximino Fernandes, Jairo Osvaldo Cazetta, Arthur Bernardes Cecílio Filho

Bibliografia

1. Silício. 2. Arroz-cultura. 3. Escória. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.86:633.18

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

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DO ARROZ: PONTE DE SILÍCIO E A INTELAÇÃO COM O NITROGÊNIO

AUTORA: ANELISA DE AQUINO VIDAL

ORIENTADOR: Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Co-Orientador(a): Dr. WILLIAM NATALE

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

Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDORFER

Dr. ARTHUR BERNARDES CECÍLIO FILHO

Dr. JAIRO OSVALDO CAZEPTA

Data da realização: 22 de dezembro de 2008.

Presidente da Comissão Examinadora
Dr. RENATO DE MELLO PRADO

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANELISA DE AQUINO VIDAL, nascida em Uberlândia – MG no dia 11 de março de 1980, possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Uberlândia (2003). Iniciou em março 2003 mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal de Uberlândia (2005). Em agosto de 2005 iniciou o curso de doutorado pelo Programa de Ciência do Solo na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal. Desenvolveu pesquisas na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Obteve seu título de Doutora em Agronomia “Ciência do Solo” em 22 de dezembro de 2008. Atualmente, ocupa o cargo de Pesquisadora Científica na Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA – Centro Oeste/Unidade Marília).

“Não há nada na natureza mais importante ou que mereça maior atenção do que o solo. Na verdade, é o solo que faz do mundo um ambiente agradável para a humanidade. É o solo que fornece provisão para toda a natureza; toda a criação depende do solo, que afinal, é a base de nossa existência”.

Friedrich Albert Fallou, 1862

Aos meus queridos pais, Edivaldo Celso Vidal e Iza Maria Fernandes de Aquino Vidal, pelo incentivo, ensinamentos, amor, exemplo de vida e dedicação, em todas as fases da minha vida.

Aos meus lindos irmãos, Cassiano e Maria Juliana, pelo companheirismo, amor e amizade.

OFEREÇO

Ao Lucas pelo amor, dedicação, companheirismo e por estar presente em minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e pela oportunidade de tentar compreender elementos de Sua criação.

À minha família, pelo apoio dedicação e incentivo à minha formação.

Ao professor Renato, meu orientador, por ter me aceitado como aluna de pós-graduação, pelos ensinamentos, pelas horas dedicadas ao acompanhamento do meu trabalho e pela amizade.

Ao professor William, pelos ensinamentos e orientações.

Ao professor Gaspar Henrique Korndörfer, pelo incentivo, amizade e contribuição constante com o meu trabalho.

Ao Prof. Dr. David Ariovaldo Banzatto, pela disponibilidade e ensinamentos estatísticos que muito contribuíram neste trabalho.

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

Aos integrantes do GENPLANT e companheiros, Liliane, Danilo, Diego, Cinara, Adriane, Ricardo, Marcelo, Rafael e Ivana, pela amizade.

Ao Gabriel Peruca de Melo, pelas análises de bioquímica presentes neste trabalho.

Aos funcionários e técnicos dos laboratórios do Departamento de Solos, Cláudia, Gomes, Marta, Dejair, Célia, Maria Inês, pela disposição em ajudar.

Aos pais do Lucas, José Carlos e Maria Aparecida, pelo apoio e amizade.

Aos amigos José Moreira e Izilda, pela amizade em Jaboticabal.

SUMÁRIO

	Página
Resumo.....	vii
SUMMARY	viii
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cultura do Arroz de Terras Altas	3
2.2. Importância do silício para a cultura do arroz.....	4
2.3. Importância do nitrogênio para a cultura do arroz	6
2.4. Interação silício e nitrogênio.....	8
2.5. Escória de siderurgia: material corretivo	8
2.6. Escória de siderurgia: fonte de silício.....	12
2.6.1. Silício no solo	12
2.6.2. Fonte de silício	14
2.7. Atividade e qualidade bioquímica dos solos.....	16
III. MATERIAL E MÉTODOS	20
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
V. CONCLUSÕES.....	77
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA CULTURA DO ARROZ: FONTE DE SILÍCIO E A INTERAÇÃO COM O NITROGÊNIO

RESUMO – A escória de aciaria como um material corretivo, fonte de silício e sua interação com a adubação nitrogenada poderá beneficiar a nutrição e a produção da cultura do arroz. Entretanto, poderá afetar a atividade biológica do solo, devido à presença de metais pesados na sua composição química. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a escória de aciaria como material corretivo e como fonte de silício e a sua interação com a adubação nitrogenada na nutrição e na produção da cultura do arroz. Para isso instalou-se experimento em casa de vegetação na UNESP/Campus Jaboticabal, com a cultura do arroz (cv IAC 202) em vasos, preenchidos com um Latossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos foram constituídos por duas fontes de material corretivo (calcário dolomítico e escória de aciaria), três doses em ECaCO_3 (1,3; 2,6 e 5,2 g dm^{-3}) e três doses de N (80, 160 e 320 mg dm^{-3}). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, analisado em esquema fatorial $2 \times 3 \times 3 + 1$, com quatro repetições. Após 90 dias de incubação do solo avaliaram-se as características químicas do solo e após 120 dias do transplante das plântulas de arroz, a atividade enzimática e teor de Si do solo, o estado nutricional (teores de nutrientes e de silício na planta) e o crescimento e a produção do arroz. Os resultados indicaram que a maior produção de grãos ocorreu com a aplicação de calcário na dose de 2,6 ECaCO_3 (V= 50%) e de nitrogênio na dose de 160 mg dm^{-3} . O uso da escória de aciaria foi semelhante ao do calcário na neutralização da acidez do solo e, ainda, aumentou a disponibilidade de silício no solo. As doses de nitrogênio diminuíram o teor de Si na parte aérea (colmo+folhas) do arroz. A adubação nitrogenada aumentou a absorção de nitrogênio, favoreceu o acúmulo de silício e nitrogênio na planta e promoveu maior produção de massa seca da parte aérea e de grãos de arroz. A escória de aciaria aumentou a atividade das enzimas celulase, protease, arilsulfatase e fosfatase ácida no solo.

Palavras-chave: silicato, resíduo siderúrgico, adubação nitrogenada, atividade enzimática no solo, *Oryza sativa* L.

SLAG IN RICE CULTIVATION: A SOURCE OF SILICON AS WELL AS ITS INTERACTION WITH THE NITROGEN

SUMMARY – Slag as a corrective material and silicon source could benefit the nutrition and yield in rice cultivation due to its interaction with nitrogen fertilization. However, the slag could affect the biologic activity of the soil because of the presence of heavy metals in its chemical composition. Thus, the objective of this work was to evaluate slag as a corrective material and as silicon source as well as its interaction with nitrogen fertilization in the nutrition and the production of rice crops. For this reason an experiment with the culture of rice (cv IAC 202) in pots filled with acid dystrophic Red Latosol was carried out in a greenhouse in UNESP/Jaboticabal. The treatments which were applied were constituted of two corrective sources (dolomitic limestone and slag), three doses of correctives in ECaCO_3 (1,3; 2,6 and 5,2 g dm^{-3}) and three doses of nitrogen (80, 160 e 320 mg dm^{-3}). The experimental design was in randomized blocks with a factorial scheme $2 \times 3 \times 3 + 1$ with four replications. Ninety days after incubation, the characteristics of the fertility of the soil were evaluated and one hundred and twenty (120) days after planting the rice, the enzymatic activity and the silicon content of the soil, the nutritional status (content of the nutrients and silicon in plants) and the growth and the production of the rice were also evaluated. The results show that the greatest production of grains occurred with the application of limestone in the dose of 2,6 ECaCO_3 ($V = 50\%$) and of nitrogen in the 160 doses of mg dm^{-3} . The result of the application of the slag was similar to that of the limestone in the neutralization of the acidity of the soil, moreover, it increased silicon availability. The doses of nitrogen diminished the content of Si in the rice (stem and leaf). Nitrogen fertilization also increased the absorption of nitrogen, favored the accumulation of silicon and nitrogen in the plants and promoted the dry mass of the aerial parts and of the rice grains. The slag increased the activity of the cellulase enzymes, arilsulfatase and acid phosphatase in the soil.

Keywords: silicate, slag, nitrogen fertilization, soil enzymes, *Oryza sativa* L.

I. INTRODUÇÃO

O arroz é considerado como uma das plantas alimentícias mais antigas utilizadas pelo homem, e é muito difícil determinar com exatidão a época em que começou a ser cultivado (ANGLADETTE, 1969).

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo e o principal alimento para mais da metade da população no planeta (Van NGUYEN & FERRERO, 2006). A área cultivada na safra 2006/07 foi de 2,96 milhões de hectares e com uma projeção de produção próxima a 11,3 milhões de toneladas (CONAB, 2008). Esse cereal participa da dieta básica do brasileiro, sendo o consumo absoluto, segundo estimativas da Conab, superior a 11,5 milhões de toneladas. O Brasil está entre os seis maiores consumidores mundiais do grão (AGRIANUAL, 1999), o nono produtor de arroz do mundo e o primeiro na América Latina (FAO, 2004).

A grande maioria dos solos tropicais é conhecida pela sua baixa fertilidade, elevada saturação por alumínio e pela necessidade de correção da acidez. O calcário tem sido o material corretivo de maior utilização no Brasil, em decorrência do seu baixo custo e efeitos benéficos no aumento da produtividade das culturas.

Atualmente, o aproveitamento de resíduos industriais na agricultura, como a escória silicatada de siderurgia, a qual o Brasil produz, para cada tonelada de ferro-gusa, 0,75 t de escória e, do mesmo modo, para cada tonelada de aço líquido produzido, tem-se como subproduto 0,64 t de escória de aciária (CATANI & SOUZA, 1989), tem sido amplamente discutido, com base em estudos que indicam a viabilidade de utilização na agricultura (PRADO et al., 2001). O silicato de cálcio é conhecido como um material corretivo (ALCARDE, 1992), de forma que pode apresentar teores relativamente elevados de CaO e MgO, favorecer a correção da acidez do solo e fornecer bases de forma semelhante aos calcários, além de comportar-se como fonte de micronutrientes, silício (Si) e de outros elementos essenciais às plantas cultivadas.

O aproveitamento da escória torna-se de grande importância, pois pode conciliar a produção do aço com a atividade agrícola, diminuindo, pelo menos em parte, o passivo ambiental gerado pelo acúmulo de escória nos pátios das siderúrgicas.

Apesar de não ser considerado como nutriente para as plantas, o Si tem apresentado vários benefícios para as culturas, principalmente para o grupo de plantas consideradas acumuladoras deste elemento, como a cultura do arroz.

Elemento essencial para o desenvolvimento e crescimento das plantas, o nitrogênio (N), quando fornecido em altas doses, pode desencadear um aumento da suscetibilidade das plantas a doenças. No entanto, o Si pode minimizar este problema em decorrência de proporcionar maior resistência das plantas ao ataque de patógenos (RODRIGUES et al., 2001). Assim, pressupõem que a alta produção da cultura do arroz está condicionada a aplicação de nitrogênio, especialmente em plantas com teores de silício suficiente para minimizar eventuais estresses biótico ou abiótico, entretanto, esse tema é pouco abordado na literatura.

Diante da necessidade de reciclar resíduos industriais na agricultura, foram fixadas três condições básicas no presente trabalho. A primeira foi a utilização de um subproduto promissor na agricultura, a escória de aciaria, com comportamento corretivo e liberador de bases (cálcio e magnésio) e de silício; a segunda foi a escolha de um solo com reação ácida, ambiente propício para a aplicação da escória, e a terceira em uma cultura responsiva e sócio-economicamente importante, o arroz. E associado a isso, existem preocupações dos efeitos da utilização de um resíduo, a escória de siderurgia, na atividade biológica do solo, fato a ser considerado, embora muito pouco conhecido.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a escória de aciaria como material corretivo de solo e fonte de silício e sua interação com adubação nitrogenada na nutrição e na produção da cultura do arroz.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1- A cultura do Arroz de Terras Altas

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais consumidos mundialmente, sendo elemento básico na alimentação da maioria dos povos. Dentre as culturas anuais no Brasil, o arroz ocupa posição de destaque, do ponto de vista econômico e social. É um dos alimentos tradicionais da dieta da população brasileira, sendo uma das principais fontes de energia alimentar (NEVES et al., 2004).

Entre 1999 e 2004, o arroz foi considerado como o quinto produto agrícola mais cultivado pelos produtores brasileiros, apresentando produção anual média de 11.122,1 t (CONAB, 2005). É um dos principais cereais produzidos no Brasil, respondendo por cerca de 2% da produção mundial e por 52% da produção da América do Sul (AZAMBUJA et al., 2004).

O arroz de sequeiro, hoje conhecido como de terras altas, ganhou destaque nos sistemas de produção usados na abertura das áreas sob vegetação de Cerrados, para a implantação de pastagens. Nesses sistemas, o arroz era cultivado por um a dois anos em área recém-desmatada, preparada e corrigida precariamente (GUIMARÃES & STONE, 2004). Frequentemente, após a abertura de novas áreas para plantio nas regiões de cerrado, os solos apresentam baixa fertilidade natural e elevada acidez (FAGERIA & SOUZA, 1995).

O cultivo de arroz no ecossistema de terras altas corresponde a aproximadamente 65,2% da área total cultivada no Brasil, contribuindo com apenas 40,9% da produção nacional (YOKOYAMA, 2002). Esta situação acontece em função da baixa produtividade obtida no sistema de cultivo sem irrigação, uma vez que tal sistema ocupa a maior área de cultivo. Assim, a baixa produtividade é resultado da distribuição irregular de chuvas nas principais regiões produtoras, o que compromete as fases em que o suprimento de água é indispensável, ocasionando reduções significativas na produtividade. Já o cultivo de arroz no ecossistema de várzeas corresponde a 34,8% da área total cultivada com a cultura e contribui com 59,1% da produção nacional (YOKOYAMA, 2002).

Segundo FAGERIA (1982) o arroz é considerado como uma espécie adaptada a condições de acidez do solo, sendo que cada cultivar responde diferentemente ao

estresse proporcionado pela presença de alumínio e à calagem. No entanto, FAGERIA & ZIMMERMANN (1998) observaram que aumentos no pH de 4,1 para 7,0 diminuem a produção de matéria seca da parte aérea de arroz de terras altas, sendo que cultivares de arroz de terras altas produzem satisfatoriamente sob pH de 5 e 5,5 (FAGERIA, 2000).

De acordo com o trabalho de CRUSCIOL et al. (1999) o potássio e o nitrogênio são considerados como os dois nutrientes mais exigidos pela cultura do arroz de terras altas. Sendo assim, a adubação nitrogenada promove aumento no número de espiguetas, massa de grãos (FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 1993) e altas doses de N incrementam o número de panículas por m², número de grãos por panícula (HUSAIN & SHARMA, 1991), afetando também a altura de plantas, podendo resultar em acamamento (ARF, 1993).

2.2 – Importância do silício para a cultura do arroz

Devido à presença de silício em significativas quantidades no ambiente, a comprovação da essencialidade do Si para as plantas, de forma científica, torna-se muito difícil de ser obtida (WERNER & ROTH, 1983), sendo esse elemento, então, considerado como “quase-essencial” ou “agronomicamente essencial”, por propiciar vários efeitos positivos e significantes para muitas espécies vegetais (EPSTEIN & BLOOM, 2005). No entanto, mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico para o desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994), a sua absorção traz inúmeros benefícios para culturas como a do arroz e da cana-de-açúcar (MA et al., 2001; RODRIGUES et al., 1999; KORNDÖRFER et al., 1999; SANTOS et al., 2003). O Si é absorvido em grandes quantidades por espécies acumuladoras, como o arroz, e é considerado como um elemento benéfico para o desenvolvimento destas plantas (KORNDÖRFER et al., 1999).

A absorção de Si afeta positivamente o crescimento e a produção de biomassa de um grande número de plantas (a maioria monocotiledôneas), além de promover a rigidez estrutural nos tecidos vegetais (EPSTEIN, 2001). Pode também reduzir a toxidez por metais pesados, por alumínio (WANG et al., 2004) e por boro (GUNES et al., 2007), aliviar desbalanços entre nutrientes e proporcionar resistência para o estresse por

salinidade (LIANG, 1999; ZHU et al., 2004). Além disso, vários outros benefícios podem ser observados nas plantas citadas: influência do silício na resistência apresentada pelas plantas em função do ataque de pragas (SOUZA, 2008) e doenças (RODRIGUES & DATNOFF, 2005), e o efeito na transpiração e na capacidade fotossintética das plantas (DEREN, 2001; ZANÃO, 2007).

BELANGER (2008), com o objetivo de melhor entender os benefícios proporcionados pela aplicação do silício nas plantas, observou, por meio de estudos referentes a expressão dos genes de *Arabidopsis*, que a melhor resposta a adubação com Si ocorre em situações em que as plantas sofreram algum tipo de estresse, seja ele biótico ou abiótico. Neste mesmo sentido BIEL et al. (2008) propõem que a função do silício seja a de assegurar a síntese de moléculas adicionais, como por exemplo enzimas antioxidantes e fenóis, para que haja a proteção da planta.

Dentre as plantas até então estudadas, o arroz apresenta-se como uma das espécies com maior capacidade de acumular Si. A absorção de Si em arroz se dá por um processo ativo (RAINS et al., 2006) e estudos realizados com plantas mutantes de arroz, que não apresentam capacidade de absorver Si, indicam a existência de proteínas transportadoras desse elemento nas raízes secundárias desta espécie (TAMAI & MA, 2003). Além disso, o silício é o elemento absorvido em maior quantidade pelo arroz, cerca de duas vezes mais que o potássio (SAVANT et al., 1997).

A importância da absorção de Si para as plantas de arroz está grandemente relacionada a efeitos indiretos. YOSHIDA et al. (1962), ao realizarem estudos microscópicos nas células da epiderme da folha bandeira do arroz, observaram que o Si está presente em compostos combinados de sílica e celulose abaixo da cutícula. Essa composição contribui para que haja uma redução na transpiração e menor perda de água, evitando que a planta sofra grande estresse em função da deficiência hídrica possível de ocorrer em arroz de terras altas (DAYANANDAM et al., 1983).

Além da proteção contra o estresse hídrico, a deposição de silício na epiderme das folhas após absorção e polimerização, pode conferir ao arroz uma resistência mecânica ao ataque de fungos e pragas conforme dito anteriormente. Entretanto, outros estudos demonstram que a resistência mediada pelo Si contra patógenos está associada com a acumulação de compostos fenólicos e fitoalexinas, além da ativação

de alguns genes PR, dando ao Si um papel ativo na resistência de plantas como o arroz às doenças (RODRIGUES & DATNOFF, 2005). Tal ativação desses genes ocorre somente em situações em que as plantas sofrem estresse pelo ataque de patógenos e foram adubadas com silício (BELANGER, 2008).

BERNI & PRABHU (2003) ao estudarem a eficiência relativa de fontes de silício na redução da severidade da brusone em folhas de arroz (cv. Metica-1) em área de várzea, observaram uma redução na severidade da brusone com o aumento das doses de silício. Além disso, o acúmulo de silício nas folhas também influencia a estrutura das plantas, que ficam mais eretas, evitando o acamamento e melhorando a eficiência fotossintética, contribuindo, então, para maior produtividade da cultura do arroz (KORNDÖRFER et al., 2003).

Diversos trabalhos como os de CARVALHO (2000), MAUAD et al. (2003) e MARCHEZAM et al. (2004) mostram aumento de produtividade do arroz em função da adubação com silício, medida através da produção de massa seca de grãos ou número de grãos por panícula. BERNAL (2008) observou aumentos entre 21 e 33% com aplicações de doses de 100 e 200 kg ha⁻¹ de silicato de magnésio em comparação ao tratamento testemunha (sem silício). No entanto, CARVALHO (2000) e MAUAD et al. (2003) não observaram aumentos significativos em relação à produtividade do arroz medida pelo número de panículas.

2.3 – Importância do nitrogênio para a cultura do arroz

O nitrogênio é um elemento considerado essencial para o crescimento das plantas, na medida em que participa ativamente no desenvolvimento de funções estruturais como, por exemplo, na produção de aminoácidos e proteínas, ácidos nucléicos, pigmentos, enzimas e coenzimas, e nos processos de multiplicação e diferenciação celulares, herança gênica, constituição de tecidos e fotossíntese (MALAVOLTA et al, 1997).

Entre os elementos absorvidos pela cultura do arroz, o nitrogênio é o nutriente mais absorvido, depois do potássio. Seus efeitos na fisiologia das plantas são observados nos componentes de produtividade (MEIRA, et al., 2005).

Ao analisar a nutrição de plantas de arroz, observa-se que o nitrogênio é o elemento que mais influencia o crescimento e produção do arroz (MAE, 1986). Entretanto, é o nutriente que mais afeta a altura da planta, aumentando-a e, dessa forma, proporciona acamamento em alguns cultivares (DINIZ et al., 1976; ARF, 1993).

A adubação nitrogenada proporciona aumento do número de colmos e panículas por área (DINIZ et al., 1976; SANTOS et al., 1986; BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 1993), do número total de espiguetas por panícula e a massa de grãos (BARBOSA FILHO, 1987; FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993), além de promover maior número de espiguetas granadas e maior teor de proteínas nos grãos (BARBOSA FILHO, 1987).

MICHELON et al. (2002) e KUNZ et al. (2002) obtiveram resposta quadrática para a produtividade de grãos (cv. Primavera), com o aumento das doses de nitrogênio. A máxima produtividade (5697 kg ha^{-1}) foi obtida com aplicação de $130 \text{ kg de N ha}^{-1}$.

MEIRA et al. (2005) ao estudarem a resposta de dois cultivares de arroz (IAC 201 e IAC 202) submetidos a quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1}), com e sem tratamento da parte aérea com fungicidas (tebuconazole e tricyclazole), verificaram que o cultivar IAC 202 proporcionou maior número de grãos formados por panícula e maior massa de 100 grãos, resultando, assim, em maior produtividade de grãos, sendo de 4512 kg ha^{-1} para o IAC 202 e 3800 kg ha^{-1} para o IAC 201. Também foi observado pelos referidos autores que a máxima produtividade foi alcançada com a aplicação de 90 kg ha^{-1} de N em cobertura.

Sabendo-se da importância do nitrogênio, vale ressaltar que altas doses induzem à formação de grande número de perfilhos e folhas novas, provocando sombreamento, acamamento, criando condições favoráveis à ocorrência de doenças e refletindo em menor produção (BARBOSA FILHO, 1987, 1991).

2.4 – Interação nitrogênio e silício

O uso de cultivares com alto potencial reprodutivo tem induzido a aplicação mais intensa de adubos, entre os quais o nitrogênio. No entanto, a utilização de doses cada vez mais elevadas deste elemento, para aumentar a produtividade, promove elevado

desenvolvimento vegetativo, o que causa acamamento de plantas e interfere negativamente na produtividade e na qualidade dos grãos (BUZETTI et al., 2006). O problema de acamamento pode ser minimizado pelo fornecimento de silício para as plantas (KORNDÖRFER et al., 2003 a).

A aplicação de altas doses de N pode favorecer a incidência elevada de doenças fúngicas. O silício, ao ser absorvido, deposita-se nas folhas, nos tecidos da epiderme, logo abaixo da cutícula, precisamente nas paredes mais externas (AGARIE et al., 1998). Assim, a aplicação de silício confere resistência mecânica à penetração das hifas (BARBOSA FILHO et al., 2001) e, desta forma, diminuindo o ataque de doenças.

Por outro lado, trabalhos como os de MAUAD et al. (2003), BALIZA et al. (2007) e FALLAH (2008) mostram que a aplicação de doses de N interfere no teor de Si na planta e que, quando a adubação nitrogenada é baixa, os teores de Si na planta tem aumentos mais pronunciados, quando comparados com as doses mais elevadas de N.

2.5- Escória de siderurgia: material corretivo

A década de 1980 foi marcada pelo desenvolvimento da atividade de siderurgia no Brasil, com forte expansão do parque siderúrgico nacional. A produção básica destas siderúrgicas está centrada na fabricação de aço e ferro-gusa. Cada tonelada deste tipo de ferro gera em torno de 750 kg de escória de siderurgia, constituída de um silicato de cálcio (CAMPUS FILHO, 1981). Anualmente, a produção da escória de siderurgia supera 3 milhões de toneladas, além do estoque que vem sendo acumulado ao longo do tempo (PRADO et al., 2001). Porém, uma das possibilidades de seu uso é na agricultura (PRADO et al., 2002).

O Brasil, até o ano de 2006, encontrava-se como o primeiro produtor de aço bruto na América Latina, com uma produção de 14,5 milhões de toneladas (IBS, 2007) e em 1996 era o sexto maior produtor de ferro-gusa, com uma produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas (BNDES, 2005). Os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo são considerados os maiores produtores de ferro e aço em nível nacional, com uma produção anual de 6.942,3, 3.873,8 e 4.049,7 milhões de toneladas, respectivamente (IBS, 2007). No entanto, a produção do ferro gera cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória siderúrgica por ano (COELHO, 1998).

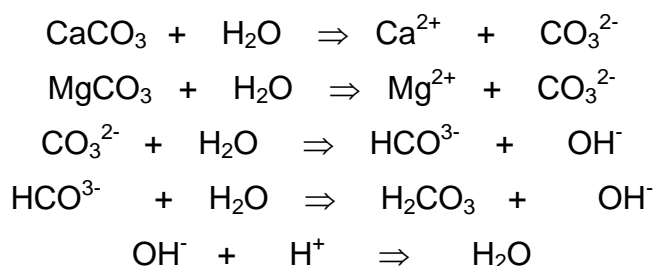
Em linhas gerais, no processo siderúrgico, o calcário, o minério de ferro e o coque ou carvão são aquecidos a 1.900°C, promovendo a redução do ferro e a produção de compostos indesejáveis (material inerte do minério e do carvão), que não foram reduzidos. Estes, combinam-se com cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do calcário, dando origem à escória (PEREIRA, 1978). Portanto, a escória apresenta constituinte neutralizante (SiO_3^{2-}) e bases como Ca e Mg (ALCARDE, 1992), e é também fonte de silício, o que pode influenciar na eficiência de aproveitamento dos fertilizantes fosfatados (PRADO & FERNANDES, 1999).

Em cada parte do processo de obtenção do ferro ou do aço há a formação de escórias de diferentes tipos. A escória de alto-forno é o resíduo do processo siderúrgico que tem como primeira etapa a obtenção do ferro bruto e impuro – ferro-gusa – por meio da redução do minério de ferro, enquanto a escória de aciaria é obtida no processo de produção do aço pela utilização do ferro-gusa, processo que exige menor grau de impureza (PRADO et al., 2001). Na sua composição encontram-se diversos óxidos de Ca, Mg, Si, Fe e Mn, cujas quantidades e concentrações são decorrentes da constituição química da matéria-prima (minério de ferro, carvão, calcário ou cal) utilizada no processo de fabricação do produto, além do tipo de refratário usado na parede do forno (PRADO et al., 2001). O teor de Si total das escórias no Brasil varia conforme o tipo, sendo que a escória proveniente de aciaria apresenta entre 12 a 22 dag kg^{-1} , enquanto a escória de alto-forno, entre 36 a 42 dag kg^{-1} (PIAU, 1995).

A maioria dos solos cultivados em regiões tropicais do Brasil apresenta baixo pH e níveis elevados e tóxicos de Al e Mn para as plantas. Isso gera menor disponibilidade de nutrientes, tais como Ca, Mg e P, resulta em menor exploração do volume de solo pelas raízes e, assim, menores produtividades são obtidas quando não são realizadas práticas de correção da acidez do solo (FORTES, 2006).

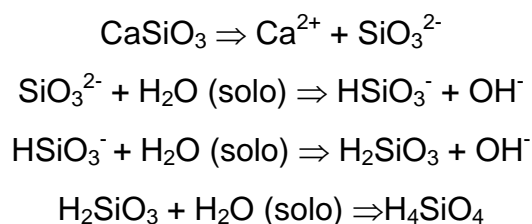
Os materiais corretivos de acidez do solo são produtos capazes de neutralizar (diminuir ou eliminar) a acidez e ainda elevar as quantidades de nutrientes no mesmo, principalmente Ca e Mg. Dentre os materiais mais utilizados na correção da acidez dos solos, destacam-se os óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos de Ca e Mg (MALAVOLTA, 1981).

O calcário é conhecido como o produto mais utilizado na agricultura para esta função. É um produto obtido pela moagem da rocha calcária, tendo como constituintes o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3). Além disso, esse material atua como corretivo de acidez e fornecedor de Ca e Mg (ALCARDE, 1992), como pode ser verificado nas reações abaixo:



Porém, novos materiais estão sendo estudados, a exemplo dos silicatos e agregados siderúrgicos (escórias) proveniente de siderúrgicas produtoras de ferro gusa e aço (PRADO, 2000).

Os silicatos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo. São capazes de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos (ALCARDE, 1992; PRADO et al., 2002a). De acordo com ALCARDE (1992) as reações de materiais silicatados que ocorrem no solo são:



Com a aplicação da escória ocorre, normalmente, a correção da acidez do solo, tendo em vista a ação do silicato de Ca, devido à base química SiO_3^{2-} . Dessa forma, ocorrem algumas reações químicas no solo de maneira semelhante à que ocorre quando se usa calcário, tais como aumento do pH e precipitação do Al e Mn tóxicos (PRADO et al., 2001).

Para avaliar o potencial da escória de siderurgia, comparando-a ao calcário, para ser empregado nas culturas, há necessidade de acompanhar os efeitos desse material na nutrição da planta, uma vez que os materiais corretivos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes (PRADO et al., 2002)

É importante observar que os calcários e os silicatos diferem quanto à superfície específica (área de contato) e quanto ao poder de neutralização (PN). O poder corretivo das escórias pode ser superior em função da característica de suas partículas, por apresentarem uma maior superfície específica, e, teoricamente, maior reatividade (NOLLA, 2004). No entanto, segundo LOUZADA (1987), o silicato de cálcio apresenta uma capacidade de neutralização de acidez de 86% em relação ao carbonato de cálcio puro (VN = 100%). Portanto, quando se aplica calcário e escória com granulometrias semelhantes, as escórias são um pouco menos eficientes na elevação do pH do solo, sendo essas pequenas diferenças de eficiência atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória (LOUZADA, 1987). PRADO & FERNANDES (2000) atribuíram também estas diferenças à não eficiência da aplicação de escória baseado no PN para a correção do solo, quando comparado ao calcário.

A aplicação dos silicatos ao solo, além de promoverem a correção da acidez também diminuem o Al tóxico, a disponibilidade de Fe e a fixação de P. Sendo assim, observa-se ganhos de produção em culturas como o arroz e cana-de-açúcar. BERNAL (2008) obteve aumentos de 14% em cana-de-açúcar e 21% em açúcar com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de silicato de magnésio em relação ao tratamento testemunha.

As escórias podem apresentar um maior efeito residual nos solos devido a liberação mais lenta de nutrientes, principalmente quando comparada aos calcários (PRADO & FERNANDES, 2000). Isto se deve a um equilíbrio químico com a solubilização da escória obtendo-se então um incremento inicial do valor 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 da solução (KATO & OWA, 1997).

A escória de alto forno apresenta maior liberação de K e a de aciaria mostra maior disponibilidade de Ca (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004). A granulometria mais

fina permite que as escórias de alto forno e de aciaria tenham uma maior reatividade com os solos, de classe textural arenosa como na argilo-arenosas. Escórias de alto forno com partículas menores que 0,3 mm são mais eficientes no fornecimento de Ca e Mg para o solo, enquanto que as mais grosseiras, com partículas maiores que 2 mm, são as menos efetivas (OLIVEIRA et al., 1994).

Existem trabalhos como os de FORTES (1993) e BARBOSA FILHO et al. (2004), que comprovaram o efeito corretivo das escórias e seu comportamento semelhante ao do calcário. Além disso, PRADO et al. (2003) observaram que ambos os corretivos – escórias e calcário – promoveram efeito residual benéfico após 48 meses de aplicação em relação à correção da acidez e à elevação da saturação por bases. Em trabalho mais recente, PRADO et al. (2004) estudaram a reatividade de uma escória de aciaria em diferentes frações granulométricas aplicadas um Latossolo Vermelho distrófico. Os autores observaram que as frações granulométricas da escória influenciaram diferentemente na acidez do solo, de forma que a fração retida entre as peneiras ABNT 5-10 mostrou-se ineficiente, enquanto a fração que passa na peneira ABNT 50 foi a que conferiu maior efeito na acidez do solo. A reatividade das partículas da escória retidas nas peneiras intermediárias, ABNT 10-20 e 20-50, foi proporcional aos valores vigentes na legislação brasileira para calcários. Portanto, a taxa de reatividade obtida para a escória foi de: ABNT 5-10= 0%; 10-20= 22%; 20-50=58% e >50=100%.

2.6- Escória de siderurgia: fonte de silício

2.6.1- Silício no solo

O silício compreende aproximadamente 28% da crosta terrestre e é considerado o segundo elemento mais abundante. Em função dessa abundância, o silício é componente majoritário dos minerais pertencentes ao grupo dos silicatos. Apresenta-se de forma livre ou combinado como parte dominante da fração sólida e dissolvido na solução do solo (MA et al., 2001). Além disso, o silício está presente em quantidades significativas em sais nutrientes, água e ar altamente purificados (WERNER & ROTH, 1983).

Tal elemento encontra-se presente, ainda, na solução do solo, na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), é desprovido de carga elétrica, e a maior parte dele apresenta-se

na forma não dissociada, que é prontamente absorvida pelas plantas, silício adsorvidos ou precipitados com óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos) (RAVEN, 1983; TAKAHASHI, 1995). A concentração do elemento nessa forma na solução do solo varia de 0,1 a 0,6 mmol L⁻¹ e a maior parte está na forma não dissociada (KNIGHT & KINRADE, 2001).

Na solução do solo, o ácido monossilícico comporta-se como um ácido muito fraco. Na medida em que o pH fica próximo à neutralidade, apenas 0,2% se ioniza na forma carregada negativamente (Si(OH)₃⁻) (MCKEAGUE & CLINE, 1963) e com a sua solubilidade limitada a 2 mmol L⁻¹. Acima desta concentração ocorre a polimerização e produção de partículas coloidais de sílica hidratada (SiO₂.H₂O) (BIRCHALL, 1995). Esse elemento move-se no solo pelo processo de difusão e do fluxo de massa (ELAWARD & GREEN, 1979).

Em regiões temperadas, os teores totais de silício, excedem os dos sesquióxidos de alumínio e ferro, enquanto nos solos de regiões tropicais ocorre o contrário. Os solos tropicais, que são altamente intemperizados, podem apresentar, em alguns casos, quantidade de silício cinco a dez vezes menores que em solos de regiões temperadas (FOY, 1992).

Em solos de textura e idade variadas do Estado de São Paulo, RAIJ & CAMARGO (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel no Latossolo fase arenosa, e os maiores valores num podzólico argiloso. Esses pesquisadores atribuíram a referida observação à reduzida porcentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície específica total para o podzólico, menos intemperizado e mais argiloso. Além disso, eles verificaram, ainda, teores de Si extraível com CaCl₂ 0,0025 mol L⁻¹, variando de 1 a 43 mg dm⁻³. É válido ressaltar que os valores maiores foram encontrados nos solos mais argilosos e houve também uma relação inversa com o grau de intemperismo. No entanto, existem questionamentos quanto à disponibilidade de silício no solo e o extrator a ser usado. Ao longo dos anos de pesquisa com Si alguns trabalhos com extratores foram realizados (PEREIRA et al., 2007; KANAMUGIRE et al., 2008). No entanto, ainda não existe um consenso sobre o melhor extrator (KORNDÖRFER & BERTHELSEN, 2008).

Apesar da grande abundância do silício na crosta terrestre (MARSCHNER,

1995), a grande maioria das classes de solos, que já passaram por processo de dessilicatização, a exemplo dos Latossolos, solos orgânicos e arenosos como os Neossolos Quartzarênicos, apresentam baixos teores solúveis deste elemento (SAVANT et al., 1997; KORNDÖRFER et al., 1999).

2.6.2- Escória de siderurgia como fonte de silício

Com o intuito de suprir a necessidade de Si, existem subprodutos da indústria do aço e do ferro-gusa, que são as escórias de siderurgia ricas em Si, que poderiam atender essa demanda. As altas temperaturas utilizadas nos processos siderúrgicos liberam o Si de estados cristalinos, presentes no mineral e no fundente, e o transformam em formas reativas e, conseqüentemente, mais solúveis (COELHO, 1998).

As principais características de uma fonte de Si para fins de uso na agricultura são: alto conteúdo de Si solúvel, propriedades físicas adequadas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, baixo custo, relações e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) equilibradas e ausência de metais pesados. Muitas escórias de siderurgia possuem tais características, e algumas delas são fontes promissoras de Si disponível (KORNDÖRFER et al., 2003).

Estudos com escórias aplicadas ao solo têm mostrado que estes materiais, além de proporcionarem mudanças nas características químicas do solo, aumentam o pH e reduzem o H+Al (PRADO & FERNANDES, 2000, 2003), em razão da presença de agente neutralizante da acidez como o SiO_3^{-2} (ALCARDE, 1992). Ademais, também favorecem incrementos na disponibilidade de P (PRADO et al., 2002), Ca, Mg (PRADO & FERNANDES, 2000, 2003) e Si no solo (ANDERSON et al., 1987; WINSLOW, 1992). Isso significa dizer que para culturas acumuladoras de Si, como o arroz e a cana-de-açúcar (KORNDÖRFER & DATNOFF, 1995), o resultado garante tolerância a doenças e aumentos de produtividade.

PEREIRA et al. (2007) realizaram estudos de incubação durante 90 dias, utilizando 4 materiais de solo sob vegetação de cerrado (Latosolo Vermelho distrófico - LVd, Latossolo Vermelho- Amarelo distrófico - LVAd, Latossolo Vermelho distroférico - LVdf e Neossolo Quartzarênico órtico - RQo) com 12 fontes de Si (wollastonita, escória de alto forno I e II, escória de aço forno LD I, II, III e IV, escória de P, escória de aço

forno AOD, escória de aço forno elétrico, escória de aço inox e argila silicatada) e testemunha. Os autores observaram que os agregados siderúrgicos originados de alto forno, os quais possuem maior teor de Si, são mais solúveis quando o extrator ácido acético foi usado e menos solúveis em água, em relação aos demais materiais. A escória de forno elétrico apresentou os maiores teores de silício extraído em água, forma mais solúvel, apresentando maior potencial de utilização para agricultura, embora sejam necessários estudos com plantas.

CARVALHO-PUPATTO et al. (2004), ao avaliarem o efeito de duas escórias de siderurgia, sendo uma de alto-forno, com 196 g kg^{-1} de Si, e outra de aciaria, com 56 g kg^{-1} de Si em suas composições, sobre os atributos químicos do solo, o crescimento radicular e a produtividade do arroz, verificaram que essas duas fontes podem ser aplicadas ao solo como corretivo de acidez e como fonte de silício para as plantas.

PEREIRA et al. (2004), com o intuito de avaliar diferentes fontes de Si quanto à disponibilidade do nutriente para plantas de arroz, desenvolveu um experimento utilizando um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, em casa de vegetação, onde foram avaliados doze fontes de silício e uma testemunha. Os autores observaram que a fonte que proporcionou maior absorção de Si pelas plantas de arroz foi a escória de fósforo, seguida da Wollastonita e de forno elétrico que não diferiram entre si. A fonte Aço Inox foi a que apresentou maior extração de Si pelos grãos, diferindo da testemunha, da argila silicatada, da Wollastonita e da escória AF2 (alto-forno da empresa 2). A fonte de silício que apresentou a menor liberação no solo e extração pelas plantas foi a argila silicatada, pois não diferiu da testemunha, seguida da escória AF2, AF1, da Cinza de xisto, do Xisto e da escória LD4 (forno de aciaria tipo LD da empresa 4).

Em outro trabalho de PEREIRA et al. (2007), os autores estudaram diferentes extratores de silício no solo e o comportamento de 25 fontes de silício aplicadas em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, além de uma testemunha, sob a cultura do arroz em casa de vegetação, e observaram que a sílica gel foi a fonte que proporcionou maior teor de Si às plantas e a fonte MB-4 foi a que menos propiciou benefício a elas.

A escória de aciaria aplicada em vasos cultivado com *Brachiaria brizantha* promoveu incremento, com ajuste linear, no aumento da concentração de Si disponível CaCl_2 de um Latossolo Vermelho distrófico (FONSECA, 2007).

2.7 – Atividade e qualidade bioquímica dos solos

O aumento da população no mundo e a demanda por maior oferta de alimentos vêm resultando em uma expansão das áreas agrícolas. Conseqüentemente, está havendo uma exploração exagerada do solo que resulta em alterações físicas, químicas e biológicas que, se não forem adequadamente monitoradas e controladas, levarão à queda de produtividade e à degradação do ecossistema (SIQUEIRA et al., 1994). Neste sentido, através da pesquisa, tem-se buscado, de forma objetiva, conhecer os efeitos da aplicação de produtos agrícolas, sejam fertilizantes ou resíduos, para o melhoramento da atividade biológica do solo.

Novas tecnologias têm sido aplicadas com o intuito de promover maiores produções. Um exemplo disso tem sido a aplicação de silicatos, na forma de escória de siderurgia, para promover ganhos de produtividade em culturas como a cana-de-açúcar e o arroz. Contudo, uma das questões discutidas quanto à utilização desses subprodutos na agricultura é a possibilidade da existência de metais pesados (PAVAN & BINGHAM, 1982) que, se biodisponibilizados, podem causar efeitos deletérios ao ambiente, como a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (COSTA et al., 1991). Assim, a incorporação desses resíduos merece estudos aprofundados para que se conheça não só a sua composição química, mas, também, sua interação com o solo (POMBO & KLAMT, 1986). KORNDÖRFER et al. (2003) afirmam que algumas escórias podem apresentar altos teores de metais pesados em sua composição e que o uso desse tipo de material na agricultura deve ser evitado. PIAU (1995), estudando os efeitos de escória de siderurgia e do calcário em plantas de milho (*Zea mays* L.), observou que, apesar dos teores de Al, Ti, Pb, Cr, Ni, Ba, V, Cd, Sr terem sido encontrados no solo e nos corretivos, não houve prejuízo à vida vegetativa das plantas e nem danos ao solo com emprego de altas doses (1 e 2 vezes a necessidade de calagem).

ISLAM & WEIL (2000) dividiram os indicadores de qualidade do solo em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e, entre estes grupos, os

indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de qualidade do solo.

Porém, de maneira geral, a qualidade do solo continua sendo mensurada apenas através de indicadores químicos e físicos, uma vez que a porção biológica do solo normalmente é mais difícil de ser quantificada. Entretanto, quando se trata da avaliação da qualidade e da sustentabilidade de solos agrícolas, é fundamental que esta seja determinada também, e principalmente, por indicadores biológicos, especialmente por aqueles relacionados ao funcionamento da ciclagem de nutrientes (SILVEIRA, 2007).

Os microrganismos são reconhecidos por sua habilidade em promover transformações bioquímicas nos nutrientes e por sua importância em prover os elementos nutritivos de interesse às plantas, principalmente N, P e S (PAUL & CLARK, 1989). Pode-se inferir essas transformações pela quantificação do número de microrganismos ou por sua atividade (NANNIPIERI et al., 1978). As avaliações de atividades enzimáticas do solo têm sido amplamente difundidas pela pesquisa agrônoma mundial devido ao seu potencial como indicadores de qualidade. Isso porque, além da sua sensibilidade para detectar alterações na qualidade do solo, mais precocemente que os indicadores físicos e químicos, tais avaliações são métodos simples e rápidos, além de se correlacionarem com outras propriedades do solo (SILVEIRA, 2007).

Em função das baixas concentrações das enzimas no solo, a quantificação destas é feita de maneira indireta, através da medida de sua atividade, e não pela sua quantidade. Geralmente, a atividade é medida através da quebra de um substrato específico para cada enzima a ser avaliada, em condições padronizadas de pH e temperatura (TABATABAI, 1994).

A atividade microbiológica inclui todas as reações metabólicas celulares, suas interações e seus processos bioquímicos mediados ou conduzidos pelos organismos do solo (SIQUEIRA et al., 1994). A hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) é um novo método que avalia a atividade hidrolítica indiscriminada, ou seja, funciona como

indicador da atividade total de microrganismos heterotróficos do solo (ADAM & DUNCAN, 2001). Segundo ALENCAR & COSTA (2000); COSTA (1995); COSTA et al. (2000), o FDA é hidrolisado por várias enzimas (lípsases, proteases e esterases), presentes nos microrganismos e, por esse motivo, tem sido usado para avaliar a atividade microbiana nas amostras de solo.

A celulase é uma enzima produzida por microrganismos do solo e é capaz de hidrolisar-se por meio de ácidos que resultam na formação de glicoses. Na natureza, este processo representa a maior fonte de carbono para o solo (RUEGGER & TAUKTORNISIELO, 2004).

Outra avaliação da atividade microbiana está ligada ao nitrogênio. Sabe-se que a maior parte do N no solo encontra-se em formas orgânicas, pouco disponíveis para as plantas, e que o primeiro passo na mineralização do N-protéico no solo envolve sua hidrólise, catalisada por enzimas denominadas proteases. A ação dessas enzimas dá origem a uma mistura de aminoácidos (BURNS, 1982). Os aminoácidos oriundos da hidrólise das proteínas são, em seguida, desaminados com a produção de NH_4^+ , que é passível de absorção ou nitrificação.

A arilsulfatase é uma enzima que participa do ciclo do S no solo, ao hidrolisar ligações do tipo éster de sulfato, o que libera íons sulfato (TABATABAI & BREMNER, 1970). Sua origem pode ser microbiana ou vegetal (GANESHAMURTHY & NIELSEN, 1990). A atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica (BALIGAR et al., 1988) por constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que são substratos da enzima.

Além da celulase, da protease e da arilsulfatase, os microrganismos liberam para o solo uma enzima conhecida como fosfatase e que está envolvida no ciclo do fósforo. A adubação pode afetar de modo significativo a atividade de fosfatase. CHUNDEROVA & ZUBETA (1969), citados por DICK (1994), observaram reduções nos níveis de atividade da fosfatase ácida de acordo com o aumento do P na solução do solo. De acordo com SKUJINS (1967), uma atividade elevada de fosfatase está relacionada com baixos níveis de fosfatos inorgânicos.

Assim, a atividade enzimática do solo pode fornecer importantes informações de como o manejo do solo está afetando a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem dos nutrientes.

O crescimento acelerado da siderurgia brasileira tem gerado grande quantidade de resíduos que podem constituir uma alternativa viável para a correção da acidez do solo e fornecer alguns micronutrientes às plantas, diminuindo impactos ambientais ocasionados pelo seu acúmulo. No entanto, uma das limitações para sua utilização é a presença de metais pesados que podem afetar plantas e microrganismos do solo. Estudos anteriores mostraram seu potencial como fonte de micronutrientes para a cultura do sorgo (NOGUEIRA, 1990), milho (ACCIOLY, 1996), feijoeiro (SILVA, 1999) e da goiabeira (PRADO et al., 2002b), porém não se têm informações sobre seu efeito na microbiota do solo, o qual depende do tipo de solo e da concentração dos metais aplicados (BROOKES, 1995). Os metais pesados podem afetar a morfologia, crescimento e metabolismo de microrganismos (LEITA et al., 1995), e reduzir, assim, a quantidade e atividade da biomassa microbiana no solo (BARDGETT & SAGGAR, 1994; FLIEBBACH et al., 1994; VALSECCHI et al., 1995), além de interferir na atividade enzimática do solo.

No entanto, a pesquisa agrônômica brasileira nesta área ainda não é suficiente. Não existem dados satisfatórios sobre a atividade enzimática de solos submetidos à calagem e à silicatagem.

III. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Campus de Jaboticabal, SP, localizada a uma altitude de 610 metros, com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W (Figura 1), em 15/02/2006.

Solo

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura média (31% de argila), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A coleta do solo foi realizada no Sítio Stéfani, no município de Jaboticabal/SP, na profundidade de 0 a 30 cm.

As características químicas para fins de fertilidade do solo (RAIJ et al., 2001) e o Si em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ disponível (KORNDÖRFER et al., 2004) foram determinadas antes da instalação do experimento e os resultados encontram-se na Tabela 1. As características granulométricas, determinadas conforme metodologia descrita por CAMARGO et al. (1986), estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Características químicas do solo coletado antes da instalação do experimento.

Camada	pH	M.O.	Si	P	K	Ca	Mg	(H+Al)	SB	T	V
cm		g dm ⁻³	--- mg dm ⁻³ ----					-----mmol _c dm ⁻³ -----			%
0-30	4,2	17	3	5	0,5	4	2	58	6,5	64,5	10

⁽¹⁾ pH em CaCl_2 (1:2,5); Silício CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ (1:10); P, K, Ca e Mg resina.

Características dos materiais corretivos

A escória de aciaria utilizada foi proveniente da siderúrgica Dedini, localizada no município de Piracicaba-SP. A caracterização química, poder de neutralização (PN), reatividade (RE), poder relativo de neutralização total (PRNT) e o silício total e solúvel estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Características granulométricas do solo na camada de 0-30 cm de profundidade.

Camada	Argila	Silte	Areia		Classe Textural
			Fina	Grossa	
cm	----- g kg ⁻¹ -----				
0-30	310	90	250	350	média

O calcário utilizado foi o dolomítico proveniente da mineradora Partezan, localizada no município de Uberaba-MG, o qual apresenta teor de MgO semelhante ao da escória de aciaria utilizada no experimento (Tabela 3).

Tabela 3. Características dos corretivos utilizados no experimento.

Fontes	Teor de		PN	RE	PRNT	Si Total*	Si Solúvel**
	CaO	MgO					
	----- g kg ⁻¹ -----		----- % -----		----- g kg ⁻¹ -----		
Escória Aciaria	257	64	61,87	87,56	54,2	92	19
Calcário dolomítico	402,3	58,4	86,50	87,08	75,3	68	0,1

* Si Total em ácido fluorídrico concentrado e ** Si-solúvel em NH₄NO₃ + Na₂CO₃

Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos pela combinação entre duas fontes de materiais corretivos, três níveis de correção e três doses de nitrogênio e uma testemunha absoluta.

As doses dos materiais corretivos utilizados foram: ½; 1 e 2 vezes a quantidade necessária para elevar a saturação por bases a 50%, valor recomendado para a cultura do arroz conforme CANTARELLA & FURLANI (1997), além da testemunha, conforme segue:

- 1- Equivalente a 1,3 g dm⁻³ de CaCO₃
- 2- Equivalente a 2,6 g dm⁻³ de CaCO₃
- 3- Equivalente a 5,2 g dm⁻³ de CaCO₃

Assim doses de escória e de calcário corresponderam a 4,76; 9,52 e 19,04 g por vaso (2,4; 4,8 e 9,6 t ha⁻¹) e 3,42; 6,84 e 13,68 g por vaso (1,7; 3,4 e 6,8 t ha⁻¹), respectivamente.

As doses de nitrogênio avaliadas foram: ½; 1 e 2 vezes a quantidade padrão de 160 mg dm⁻³ indicada por FAGERIA (2001). As doses corresponderam a 80; 160 e 320 mg dm⁻³ de N na forma de uréia (44% de N).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3 x 3 + 1, totalizando dezenove tratamentos, com quatro repetições. Os fatores correspondem a dois tipos de materiais corretivos, calcário comum e escória de aciaria, três doses dos corretivos, três doses de nitrogênio, e uma testemunha absoluta.

Incubação do solo

Amostras de 16 kg de TFSA foram colocadas em sacos plásticos juntamente com os materiais corretivos selecionados para a condução do experimento e homogêneos com o solo. O solo ficou incubado por 90 dias mantendo-se a umidade ajustada a 60% da capacidade de retenção de água.

Instalação e tratamentos culturais empregados no experimento

A unidade experimental constou de um vaso plástico com a capacidade de 5 dm³, contendo 4 dm³ de TFSA já previamente incubadas com os materiais corretivos.

Cultivar

Para a instalação do experimento utilizou-se a cultura do arroz, cultivar IAC – 202, obtido do cruzamento entre os cultivares Lemont e IAC 25, pelo Instituto Agrônomo de Campinas, no ano de 1985. O cultivar é indicado para terras altas e apresenta as seguintes características: altura entre 80 a 90 cm (porte baixo), com massa de 100 grãos de 2,20 g, ótima resistência ao acamamento, ciclo médio de florescimento de 87 a 92 dias, resistência moderada a brusone (*Pyricularia oryzae*). É recomendado para o sistema de cultivo irrigado por aspersão e sequeiro, de excelentes características culinárias (Instituto Agrônomo de Campinas, 1998).

As sementes de arroz IAC 202 foram colocadas para germinar no dia 1º de fevereiro de 2006 em bandejas plásticas, contendo areia lavada e periodicamente

irrigadas com água deionizada. Aos 14 dias após a semeadura, procedeu-se ao transplante de 10 mudas para cada vaso plástico e após 15 dias realizou-se o desbaste, deixando cinco plantas por vaso. Os vasos foram irrigados diariamente com 300 mL de água deionizada. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação sendo feito, periodicamente, o rodízio dos vasos. A visão parcial do experimento encontra-se na Figura 1.



Figura 1. Fotos do experimento aos 60 dias após a semeadura, desenvolvido em casa de vegetação da FCAV/UNESP.

A adubação básica para a cultura do arroz foi realizada de acordo com FAGERIA (2000), aplicando-se $P = 200 \text{ mg dm}^{-3}$ (superfosfato simples) e $K = 180 \text{ mg dm}^{-3}$ (cloreto

de potássio). Além desses nutrientes, foram acrescentados os micronutrientes B ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$), Cu ($1,5 \text{ mg dm}^{-3}$) e Mn ($3,0 \text{ mg dm}^{-3}$), na forma de ácido bórico, sulfato de cobre e sulfato de manganês, respectivamente, conforme indicação de MALAVOLTA (1980) para experimento em vaso.

As doses de N para o arroz foram parceladas, aplicando-se metade no transplantio das mudas de arroz. A outra metade foi distribuída no início do perfilhamento (20 dias após a semeadura) e no início da formação da panícula (55 dias após a semeadura) (FAGERIA, 2001).

Decorridos 120 dias após o transplantio das plântulas de arroz, foi coletada toda a parte aérea das plantas (colmos, folhas e panículas). O material coletado foi lavado com detergente (1 mL L^{-1}), enxaguado com água corrente e por último com água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa de circulação forçada a 65°C . Após a secagem, todo o material foi pesado para obtenção da produção de massa seca da parte aérea (MSPA) (colmo + folha) e, posteriormente, moído. Também foi realizada a pesagem dos grãos, após serem secos em estufa de circulação forçada a 65°C , para a determinação da massa seca dos grãos (MSG).

Características analisadas

Altura das plantas (em cm): foi determinada em todas as plantas colhidas, medindo-se a distância entre o colo da planta e a folha mais alta.

Número de colmos por vaso: contagem do número de colmos, considerando o número de perfilhos existentes a partir da planta principal.

Massa seca da parte aérea (MSPA) (g por vaso): colmo e folhas foram pesados após serem secos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante.

Número de panículas por vaso: contagem do número de panículas contidas em cada vaso no momento da colheita.

Massa seca de grãos (MSG) (g por vaso): após serem secos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C , foi determinada a massa seca dos grãos até atingir massa constante.

Características químicas do solo: determinado os atributos químicos referentes à fertilidade do solo (pH CaCl_2 , H+Al, SB, T, V) e as concentrações de macro

e micronutrientes no solo, após o período de incubação e ao final do experimento, foram determinados seguindo a metodologia proposta por RAIJ et al. (2001). Além disso, foi determinado o silício no solo após o período de incubação e ao final do experimento. Tal procedimento seguiu a metodologia proposta por KORNDÖRFER et al. (2004).

Determinações de macro, micronutrientes e silício nas plantas: os teores dos nutrientes e de silício na MSPA (colmo + folhas) foram determinados segundo as metodologias propostas por BATAGLIA et al. (1983).

Nutrientes acumulados: o acúmulo de nutrientes foi calculado a partir dos teores de nutrientes da parte aérea e multiplicado pela sua massa seca.

Atividade microbiológica do solo: para as análises de atividade microbiológica do solo foram selecionadas amostras de solo coletadas dos vasos, logo após a colheita da parte aérea, ou seja, 120 dias após o transplântio das plântulas de arroz. Realizou-se a determinação de cinco propriedades biológicas do solo: atividade microbiana pelo método de hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA (CHEN et al., 1988), atividade das enzimas celulase (SMITH, 1977), protease (ALEF & NANNIPIERI, 1995), arilsulfatase (TABATABAI & BREMNER, 1970) e fosfatase ácida (TABATABAI, 1982). Todas essas análises foram realizadas pelo Laboratório de Bioquímica do Departamento de Tecnologia da Unesp/Jaboticabal, SP.

Análise estatística

Os resultados obtidos, foram submetidos à análise de variância pelo Teste de F, considerando um esquema fatorial $2 \times 3 \times 3 + 1$, que correspondem a dois tipos de corretivo, três doses de aplicação dos materiais corretivos, três doses de nitrogênio, e uma testemunha absoluta, em 4 repetições, em todas as variáveis em estudo, exceto para as variáveis de atividade microbiológica do solo, para as quais consideraram 4 tratamentos (1- calcário= 3,4 g por vaso e N= 80 mg dm⁻³; 2- calcário=13,7 g por vaso e N= 320 mg dm⁻³; 3- escória de aciaria= 4,8 g por vaso e N=80 mg dm⁻³ e 4- escória de aciaria= 19 g por vaso e N=320 mg dm⁻³ N e 5- testemunha), em 4 repetições.

As médias das interações triplas significativas foram comparadas pelo Teste Tukey a 5%. Foram realizadas, também, análises de regressão polinomial para as interações entre fontes e doses de material corretivo, fontes e doses de N e entre doses dos materiais corretivos e doses de N, em todas as variáveis em estudo, exceto para as variáveis de atividade microbiológica do solo.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos tratamentos nas características químicas do solo

Observa-se que a aplicação das duas fontes corretivas em combinação com os três níveis estudados proporcionaram aumentos do pH CaCl_2 , da disponibilidade de P, Ca, Mg e Zn, resultando em menor concentração de H^+Al e também de Fe, além do aumento os valores de SB, T e V% em relação à testemunha absoluta.

De acordo com a análise de variância para o pH em CaCl_2 da solução do solo, no período após os 90 dias de incubação, verificou-se que houve significância para a interação entre as fontes aplicadas e as doses dos materiais corretivos, cujos os resultados ajustaram-se ao modelo polinomial de regressão (Figura 2).

Observou-se que tanto o calcário dolomítico como a escória de aciaria promoveram aumentos do pH do solo (Figura 2a). O maior valor de pH foi observado na aplicação da dose de $5,2 \text{ g dm}^{-3} \text{ ECaCO}_3$. A capacidade da escória de siderurgia em aumentar o pH do solo se deve à hidrólise do ânion silicato que promove a liberação de hidroxilas (OH^-), neutralizando os H^+ e elevando o pH do solo (ALCARDE, 1992). A elevação do pH com a aplicação da escória de siderurgia está de acordo com os resultados apresentados por outros autores (KORNDÖRFER et al., 1999; FARIA, 2000; SILVA, 2001; PRADO & FERNANDES, 2003) que também observaram aumentos do pH do solo com a aplicação de escória de siderurgia.

Observa-se ainda que o pH em CaCl_2 aumentou quase duas unidades entre a aplicação das doses de $1,3$ a $5,2 \text{ g dm}^{-3} \text{ ECaCO}_3$, na forma de escória. MELO (2005), aplicando a dose de silício de 450 mg dm^{-3} em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificou aumento de pH em CaCl_2 de 5,5 para 6,1.

Tabela 4. Valores médios de características químicas do solo em amostras retiradas após o término da incubação, em função das fontes de materiais corretivos (F) e das doses dos materiais (DC).

Tratamentos	pH	M.O. g dm ⁻³	P g dm ⁻³	K	Ca	Mg mmolc dm ⁻³	H+Al	SB	T	V %	Cu	Fe	Mh	Zn
Fatorial	5,0	16	5,4	0,7	20,3	8,6	25,6	30,0	56,0	49,5	0,60	41,3	6,7	0,3
Testemunha	3,9	15	3,5	0,7	2,5	1,5	41,0	4,7	45,7	10,2	0,60	73,7	6,8	0,1
Teste F														
Fatorial x Testemunha	1341,71**	8,30 ^{ns}	47,03**	1,66 ^{ns}	976,56**	443,29**	1015,93**	608,65**	127,44**	1777,92**	0,00 ^{ns}	673,58**	0,73 ^{ns}	50,37**
F	2,52 ^{ns}	0,09 ^{ns}	28,90**	0,14 ^{ns}	3,94 ^{ns}	6,35*	9,85**	3,73 ^{ns}	3,80 ^{ns}	20,87**	11,39**	19,24**	1329,78**	191,44**
DC	1067,47**	1,21 ^{ns}	16,26**	1,29 ^{ns}	1173,48**	528,76**	495,50**	695,56**	347,58**	1037,25**	0,53 ^{ns}	105,07**	42,54**	47,13**
F x DC	21,30**	12,36 ^{ns}	7,23**	7,05 ^{ns}	10,17**	6,58**	11,58**	8,46**	19,07**	14,50**	5,52**	21,01**	130,78**	39,80**
C.V.(%)	1,27	4,2	11,1	7,25	6,0	8,4	4,0	7,3	3,5	4,0	8,0	6,5	5,9	15,8

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. **, *, ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo (P>0,05) respectivamente pelo teste F.

A aplicação de ambos os corretivos, além de aumentar o pH em CaCl_2 , diminuiu o teor de $\text{H} + \text{Al}$ no solo (Figura 2b). Observou-se que os valores de $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ decresceram de 31 a $13,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a escória e de 29,5 a $15,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o calcário, respectivamente, para as doses de 1,3 a $5,2 \text{ g dm}^{-3} \text{ ECaCO}_3$.

Salienta-se que as doses de escória aplicadas no solo, promoveu diminuição da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) em decorrência da elevação do pH, devido à reação da base SiO_3^{2-} no solo, formando H_2SiO_3^- (ALCARDE, 1992), que reduziu o H^+ presente na solução do solo. A contínua remoção de H^+ da solução do solo conduz também à precipitação do íon Al^{3+} na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$ que é de baixa solubilidade e não promove toxicidade para as plantas (PAVAN & OLIVEIRA, 1997; KORNDÖFER & NOLLA, 2003).

As doses dos materiais corretivos, escória e de calcário, elevaram de forma linear os valores de Ca e Mg (Figura 2 c,d) em relação à análise inicial do solo. CARVALHO-PUPATTO et al. (2003), também trabalhando com escória de siderurgia, encontraram aumentos nos teores de Ca e Mg nos solos cultivados com arroz. FIRME (1986) justifica esse aumento nos teores de Ca e Mg do solo ocorre devido à composição química do material empregado, pois, no processo de fundição do aço, esses nutrientes provém do calcário e do silicato.

De acordo com a Figura 2e, observa-se que, tanto para o calcário como para a escória, a soma de bases (SB) no solo também aumentou em decorrência das maiores concentrações de cálcio e magnésio no solo. Este mesmo comportamento foi observado para os valores encontrados para CTC em pH 7,0 (T) (Figura 2f) e para a saturação por bases (V%) (Figura 2g), pois esta última é calculada a partir dos resultados obtidos para a SB e T. Além disso, observa-se que os valores de V% nas doses de 1,3 e $2,6 \text{ g dm}^{-3} \text{ ECaCO}_3$ ficaram próximos ao pretendido para o experimento (50%). PULZ et al. (2008), ao estudarem a influência de silicato e calcário na batata sob condições de deficiência hídrica, constataram a elevação da saturação por bases do solo em relação à análise inicial após a aplicação dos corretivos, confirmando as observações feitas neste trabalho.

Também foram obtidos resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, os experimentos realizados por SILVA (2001) em relação ao pH e à porcentagem de saturação por bases, utilizando uma escória siderúrgica e por MELO (2005) que, após a

aplicação de 450 mg dm^{-3} de silicato de cálcio, observou redução no teor de $\text{H}+\text{Al}^{+3}$ de 22,9 para $14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e aumentos na porcentagem por saturação de bases de 65,5 para 74,5%, aproximadamente.

A concentração de fósforo disponível no solo apresentou efeito diferenciado em função dos materiais corretivos aplicados no solo (Figura 2h), tendo ajuste quadrático para o calcário e ajuste linear para a escória. Verificou-se que a maior disponibilidade deste elemento no solo ocorreu com a aplicação da escória e das maiores doses de equivalente de CaCO_3 , nos quais os valores de pH também encontraram-se mais elevados (cerca de 6,0). FAGERIA (1984), ao estudar o efeito do pH na disponibilidade de P em solos de cerrado, observou que o P tende a estar mais disponível em solos com pH próximo de 6,0. Nota-se que a maior concentração de fósforo disponível, ocorreu com o emprego da escória de siderurgia, em relação ao calcário. Segundo BALDEON (1995) e CARVALHO et al. (2000), os acréscimos de fósforo em função da aplicação de silicatos ocorreram devido ao somatório de dois fatores: o poder corretivo (alcalinizante) dos silicatos e a competição Si x P pelos mesmos sítios de adsorção nos solos, interação esta que não ocorre quando se utiliza somente o calcário. PRADO & FERANDES (2001), ao avaliarem o efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, observou efeito linear da escória de siderurgia no P disponível do solo, em contraste com a ausência de relação quando se aplicou calcário, sendo que este resultado sugere que o efeito positivo da escória de siderurgia se deve mais ao efeito do silicato, de saturar os sítios de adsorção de P, do que ao efeito de aumento do pH. No entanto, VIDAL (2005) observou que existem diferenças quanto à adsorção de fósforo e de silício em um grupo de solos com textura que variaram de arenosos a muito argilosos. Desta forma, a contribuição dos silicatos na disponibilidade de P, seria justificada pelo efeito duplo: corretivo da acidez e fertilizante (silício).

Pela Figura 3a, apesar de significativa a interação entre as fontes e as suas respectivas doses, para a concentração de cobre no solo, não houve ajuste significativo para os modelos de regressão polinomial empregados. Por outro lado, a escória aumentou a disponibilidade de zinco e manganês (Figuras 3 c, d). Isso pode ser justificado, provavelmente, pela presença desses elementos na composição da escória.

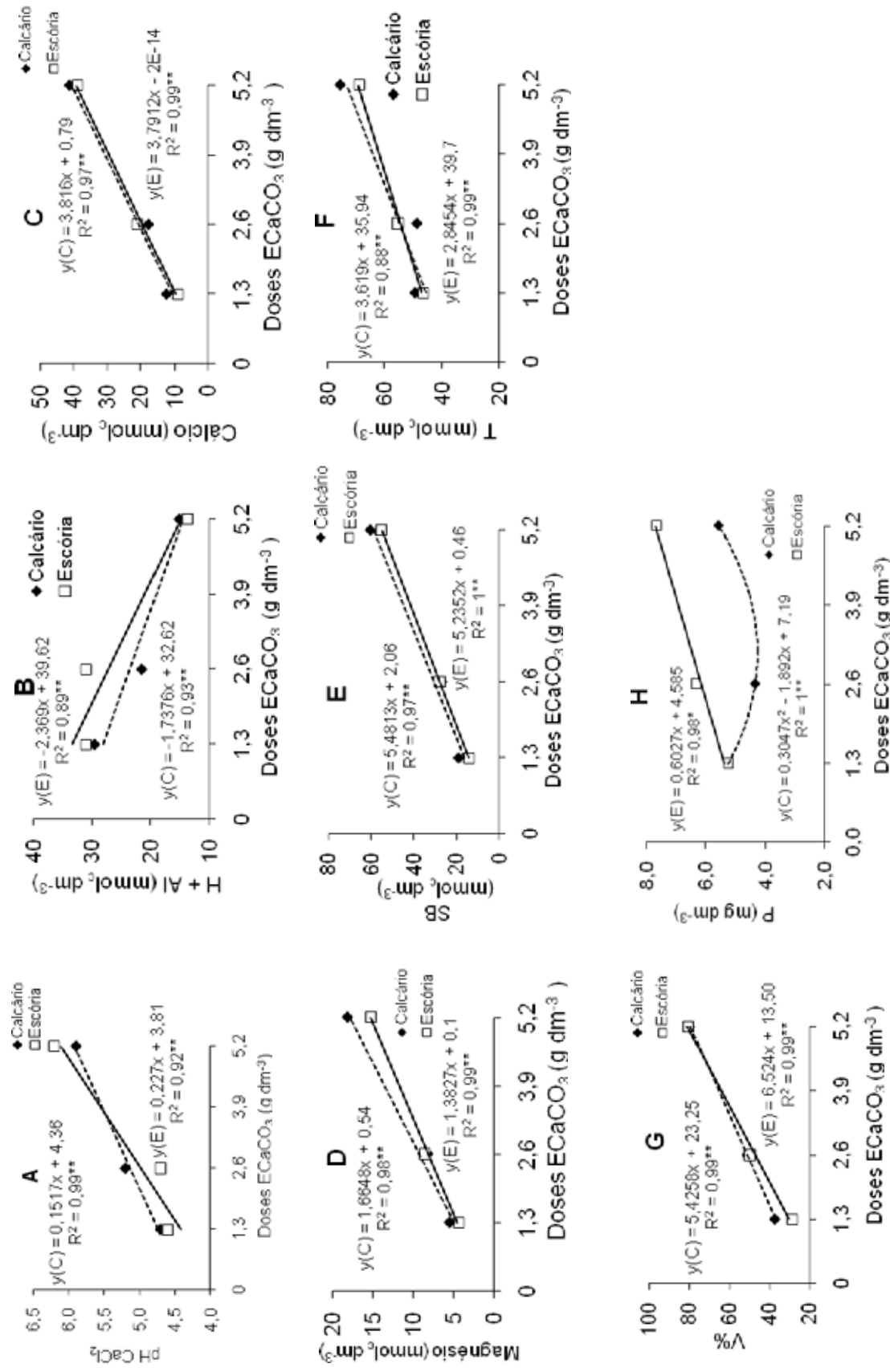


Figura 2. Efeito das fontes (média da escória de aciaria e calcário) e das doses dos materiais corretivos nos atributos químicos do solo após o período de 90 dias de incubação.

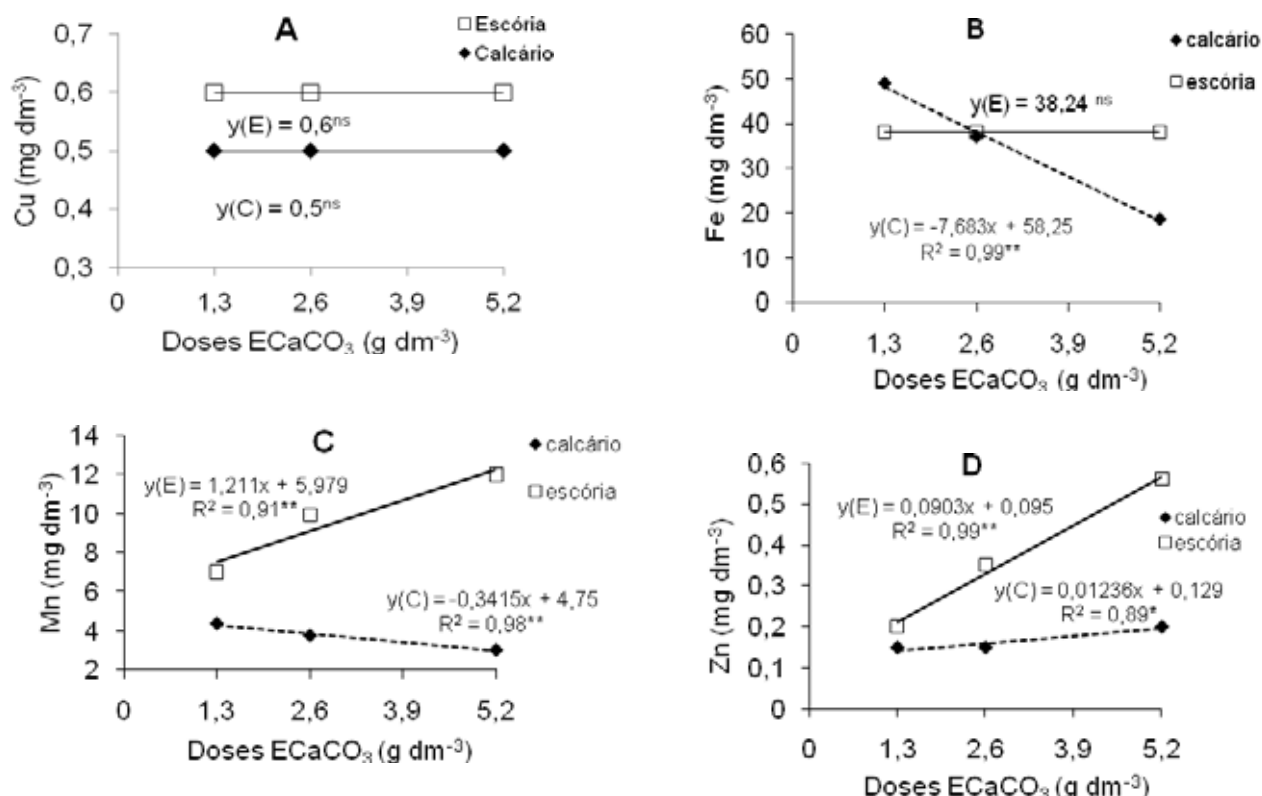


Figura 3. Efeito das fontes (média do calcário e da escória de aciaria) e das doses dos materiais corretivos nas concentrações de micronutrientes do solo após o período de 90 dias de incubação.

PRADO et al. (2002b), observaram aumentos nas concentrações de Zn, Cu e Mn no solo em função da aplicação da escória de siderurgia e concluíram que esse material, além de apresentar-se como corretivo de acidez, também pode ser utilizado como fonte de micronutrientes para as plantas.

Já para o calcário, observa-se uma diminuição na disponibilidade de Fe e Mn (Figura 3b, c). A diminuição na disponibilidade desses elementos poderia ser justificada pela elevação do pH em decorrência da aplicação do calcário. Trabalhos como os de LINDSAY (1972) e MENGEL & GEURTZEN (1986) mostram que esses elementos em solos de pH elevado diminuem a sua disponibilidade.

Teores de macro e micronutrientes na parte aérea (colmo + folhas) das plantas

Os resultados dos teores de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea da planta (colmo + folhas), para o fatorial e a testemunha absoluta, em função do tipo e

doses dos corretivos e doses de nitrogênio, estão apresentados na Tabela 5, assim como as respectivas interações entre os fatores estudados.

Por meio desse estudo, verificou-se que a aplicação dos tratamentos realizados na cultura do arroz, já descrita anteriormente, resultou em maiores teores de N, Ca e Mg do fatorial, comparada com a testemunha (Tabela 5). Tal procedimento indicou melhoria no estado nutricional das plantas de arroz. No entanto, os demais nutrientes apresentaram-se com maior teor nas plantas testemunhas. Esse comportamento poderia ser explicado pelo fato de ter havido desenvolvimento favorável das plantas submetidas aos tratamentos do fatorial, e em função do resultado positivo houve efeito de diluição dos nutrientes nessas plantas. Observou-se que o crescimento das plantas do tratamento testemunha foi inferior e, por isso, houve uma concentração de P, K, S, Mn e Zn.

A Tabela 5 também apresenta a interação tripla entre os fatores fontes, doses de material corretivo e de nitrogênio e que tal interação foi significativa para a maioria dos nutrientes avaliados, com exceções ao Fe e Mn.

Houve efeito positivo do corretivo utilizado no teor de N nas folhas. No entanto, esse efeito foi menor para os tratamentos que receberam escória de aciaria em comparação ao calcário (Tabela 6), entre as combinações de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ de ECaCO_3 e 320 mg dm^{-3} de N e $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ de ECaCO_3 com as doses de 80 e 160 mg dm^{-3} de N.

Na Tabela 7, em relação as doses de ECaCO_3 , a aplicação do calcário aumentou em todas as combinações, com as doses de N, o teor de N na planta. Entretanto, observa-se uma redução no teor desse elemento nas plantas com a aplicação de silicato. ISLAM & SAHA (1969) obtiveram uma redução nos teores desse elemento à medida que o nível de aplicação do silicato foi aumentando, o que se assemelha aos resultados obtidos no presente trabalho. O efeito da aplicação do silício poderia reduzir a incidência de doenças fúngicas, como a brusone, um dos principais patógenos atuantes sobre a cultura do arroz, por evitar que elevados desenvolvimentos vegetativos ocorram e predisponham as plantas ao acamamento (BUZETTI et al., 2006).

PULZ et al. (2008) verificaram maior teor de N em folhas de batateira que receberam calcário em comparação com os tratamentos com aplicação de silicato e justificaram o menor teor deste elemento na planta em função de um efeito de diluição, já que as plantas que receberam silicato proporcionaram maior altura da planta e conseqüentemente, maior matéria seca. No entanto, MAUAD et al. (2003) não observaram redução do teor de N em plantas de arroz com a aplicação de 600 mg kg^{-1} de SiO_2 , inferindo que as doses de Si aplicadas poderiam não ter sido elevadas o suficiente para reduzir os teores de N na planta.

De acordo com a Tabela 8, a aplicação de doses de N ao solo resultou em teor de N na planta semelhante às combinações de fontes com as doses de ECaCO_3 , e indicou que a absorção de N pela planta não acompanhou o aumento da disponibilidade desse elemento para a cultura do arroz.

A interação tripla entre fontes, doses dos materiais corretivos e doses de N, fez com que o teor de P na planta fosse maior para os tratamentos que receberam calcário para a maioria das combinações (Tabela 6). No entanto, a dose de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e 160 mg dm^{-3} N, $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e 80 mg dm^{-3} N, $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e 80 e 320 mg dm^{-3} N não houve diferenças entre as duas fontes estudadas. Somente na dose de $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e 160 mg dm^{-3} N, o emprego da escória proporcionou maior teor de P na planta.

Em relação às doses de ECaCO_3 (Tabela 7), nota-se que praticamente não houve diferenças para o teor de P na planta com a aplicação das fontes e as doses crescentes de N. Assim, os aumentos observados nas concentrações de P na solução do solo (Figura 2h) decorrentes da aplicação dos materiais corretivos e das doses de ECaCO_3 , não favoreceram os acréscimos nos teores de P na planta.

As doses de N aumentaram o teor de P na planta para as interações entre a dose de $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e as duas fontes estudadas. Apesar da possível acidificação do solo, decorrente da reação da uréia no solo e liberação de H^+ , o teor de P aumentou na planta (Tabela 8).

De acordo com a Tabela 6, nota-se que o teor de potássio foi maior nos tratamentos que receberam calcário em quase todas as combinações entre ECaCO_3 e N. As doses crescentes de ECaCO_3 proporcionaram uma diminuição no teor de K nas plantas, independente da combinação da fonte ou das doses de N (Tabela 7).

Tabela 6. Teor na massa seca da parte aérea (folhas + colmos) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre e zinco das fontes corretivas, dentro de cada combinação de doses dos materiais corretivos e de nitrogênio

Fontes	Doses ECaCO_3 (g dm^{-3})								
	1,3			2,6			5,2		
	N (mg dm^{-3})								
	80	160	320	80	160	320	80	160	320
N (g kg^{-1})									
Calcário	8,1 a	9,7 a	15,8 a	7,9 a	8,1 a	16,1 a	8,8 a	10,8 a	14,5 a
Escória	7,9 a	9,8 a	13,7 b	7,6 a	9,6 a	15,1 a	6,8 b	7,4 b	13,5 a
P (g kg^{-1})									
Calcário	1,1 a	0,9 a	0,8 a	0,9 a	0,6 b	0,9 a	0,9 a	1,0 a	0,8 a
Escória	0,9 b	0,8 a	0,6 b	0,9 a	0,9 a	0,7 b	0,7 a	0,5 b	0,9 a
K (g kg^{-1})									
Calcário	13,1 a	9,2 a	7,6 a	13,6 a	13,5 a	4,1 b	17,1 a	12,3 a	8,8 a
Escória	12,9 a	7,4 b	5,8 b	11,8 b	9,9 b	7,4 a	12,5 b	10,3 b	9,4 a
Ca (g kg^{-1})									
Calcário	4,4 a	5,7 a	6,1 a	6,1 a	5,0 a	5,8 a	5,5 a	5,7 a	6,1 a
Escória	4,9 a	3,8 b	3,2 b	3,9 b	4,8 a	5,0 b	4,7 a	5,2 a	5,0 b
Mg (g kg^{-1})									
Calcário	2,2 a	3,1 a	2,8 a	2,8 a	3,0 a	3,9 a	3,8 a	3,8 a	4,6 a
Escória	2,1 a	1,2 b	2,1 b	2,0 b	3,3 a	3,4 b	2,4 b	3,1 b	3,7 b
S (g kg^{-1})									
Calcário	1,9 a	2,3 a	2,8 a	2,2 a	2,0 a	2,5 a	1,4 a	1,2 b	1,8 b
Escória	2,2 a	2,1 a	1,9 b	2,2 a	2,4 a	2,5 a	1,7 a	1,7 a	2,2 a
Cu (mg kg^{-1})									
Calcário	5,0 b	3,7 a	7,0 a	3,5 a	4,5 a	8,2 a	6,7 a	6,5 a	6,7 a
Escória	7,0 a	4,7 a	5,0 b	4,0 a	5,5 a	6,7 b	5,0 b	4,5 b	5,2 b
Zn (mg kg^{-1})									
Calcário	32,5 b	20,0 b	26,0 a	18,2 b	20,2 b	18,2 a	9,7 b	8,0 b	8,5 b
Escória	58,7 a	41,7 a	24,7 a	37,2 a	43,0 a	16,5 b	25,2 a	23,0 a	23,2 a

a,b – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

Tabela 7. Teor na massa seca da parte aérea (folhas + colmos) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre e zinco das doses dos materiais corretivos, dentro de cada combinação de fontes corretivas e de nitrogênio

Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	N (mg dm ⁻³)					
	80	160	320	80	160	320
	N (g kg ⁻¹)					
1,3	8,2 b	7,9 b	8,9 c	9,8 b	9,6 b	7,5 b
2,6	9,7 b	8,2 b	10,8 b	13,8 a	15,1 a	13,5 a
5,2	15,9 a	16,1 a	14,5 a	7,6 c	6,9 c	6,5 c
	P (g kg ⁻¹)					
1,3	1,1 a	0,9 a	0,9 a	0,9 a	0,9 a	0,8 a
2,6	1,0 a	0,6 b	1,0 a	0,9 a	0,9 a	0,5 b
5,2	0,9 a	1,0 a	0,8 a	0,6 b	0,8 a	0,9 a
	K (g kg ⁻¹)					
1,3	13,1 a	13,6 a	17,2 a	13,0 a	11,8 a	12,1 a
2,6	9,3 b	13,5 a	12,3 b	7,5 b	10,0 a	10,3 b
5,2	7,6 b	4,1 b	8,8 c	5,8 b	7,4 b	9,4 b
	Ca (g kg ⁻¹)					
1,3	4,4 a	5,7 a	6,1 a	4,9 a	3,8 a	3,2 a
2,6	6,1 a	5,0 a	5,9 a	3,9 a	4,9 a	5,0 a
5,2	5,5 a	5,7 a	6,1 a	4,7 a	5,3 a	5,0 a
	Mg (g kg ⁻¹)					
1,3	2,2 a	3,2 a	2,9 a	2,1 a	1,2 a	2,4 a
2,6	2,8 a	3,0 a	4,0 a	2,0 a	3,3 a	3,4 a
5,2	3,8 a	3,8 a	4,6 a	2,4 a	3,1 a	3,8 a
	S (g kg ⁻¹)					
1,3	2,0 a	2,3 a	2,9 a	2,2 a	2,1 a	1,9 a
2,6	2,2 a	2,1 a	2,5 a	2,2 a	2,4 a	2,5 a
5,2	1,5 a	1,2 a	1,8 a	1,7 a	1,7 a	2,3 a
	Cu (mg kg ⁻¹)					
1,3	5,0 b	3,8 b	7,0	7,0 a	4,8 a	5,0 a
2,6	3,5 c	4,5 b	8,3	4,0 b	5,5 a	6,8 a
5,2	6,8 a	6,5 a	6,8	5,0 b	4,5 a	5,3 a
	Zn (mg kg ⁻¹)					
1,3	32,5 a	20,0 a	26,0 a	58,8 a	41,8 a	24,8 b
2,6	18,3 b	20,3 a	18,3 b	37,3 b	43,0 a	36,5 a
5,2	9,8 c	8,0 b	8,5 c	25,3 c	23,0 b	23,3 b

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 8. Teor na massa seca da parte aérea (folhas + colmos) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre e zinco das doses de nitrogênio, dentro de cada combinação de fontes corretivas e doses dos materiais corretivos

N (mg dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)					
	1,3	2,6	5,2	1,3	2,6	5,2
N (g kg ⁻¹)						
80	8,2 a	9,7 a	15,9 a	9,8 a	13,8 a	7,6 a
160	7,9 a	8,2 b	16,1 a	9,6 a	15,1 a	6,9 a
320	8,9 a	10,8 a	14,5 a	7,5 b	13,5 a	6,5 a
P (g kg ⁻¹)						
80	1,1 a	1,0 a	0,9 a	0,9 a	0,9 a	0,6 a
160	0,9 a	0,6 b	1,0 a	0,9 a	0,9 a	0,8 a
320	0,9 a	1,0 a	0,8 a	0,8 a	0,5 b	0,6 a
K (g kg ⁻¹)						
80	13,1 b	9,3 b	7,6 a	13,0	7,5 b	5,8 c
160	13,6 b	13,5 a	4,1 b	11,8	10,0 a	7,4 b
320	17,2 a	12,3 a	8,8 a	12,1	10,3 a	9,4 a
Ca (g kg ⁻¹)						
80	4,4 a	6,1 a	5,5 a	4,9 a	3,9 a	4,7 a
160	5,7 a	5,0 a	5,7 a	3,8 a	4,9 a	5,3 a
320	6,1 a	5,9 a	6,1a	3,2 a	5,0 a	5,0 a
Mg (g kg ⁻¹)						
80	2,2 a	2,8 a	3,8 a	2,1 a	2,0 a	2,4 a
160	3,2 a	3,0 a	3,8 a	1,2 a	3,3 a	3,1 a
320	2,9 a	4,0 a	4,6 a	2,1 a	3,4 a	3,8 a
S (g kg ⁻¹)						
80	2,0 a	2,2 a	1,5 a	2,2 a	2,2 a	1,7 a
160	2,3 a	2,1 a	1,2 a	2,1 a	2,4 a	1,7 a
320	2,9 a	2,5 a	1,8 a	1,9 a	2,5 a	2,3 a
Cu (mg kg ⁻¹)						
80	5,0 b	3,5 b	6,8	7,0 a	4,0 b	5,0
160	3,8 b	4,5 b	6,5	4,8 b	5,5 a	4,5
320	7,0 a	8,3 a	6,8	5,0 b	6,8 a	5,3
Zn (mg kg ⁻¹)						
80	32,5 a	18,3	9,8	58,8 a	37,3 b	25,3 a
160	20,0 b	20,3	8,0	41,8 b	43,0 a	23,0 a
320	26,0 b	18,3	8,5	24,8 c	36,5 b	23,3 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Por outro lado, as crescentes doses de N contribuíram para que houvesse maiores teores de K (Tabela 8). PULZ et al. (2008) ao estudar a influência do silicato e do calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob

deficiência hídrica, não verificaram influência dos tratamentos com calcário ou com silicato nos teores de K nas plantas.

O cálcio e o magnésio são os dois principais elementos constituintes das fontes corretivas utilizadas no experimento. A aplicação das duas fontes no solo resultou em maior disponibilidade de Ca e Mg para as plantas (Figura 2 c, d). No entanto, apesar de as contribuições do calcário e da escória na disponibilidade de cálcio e magnésio no solo serem semelhantes, observou-se que os teores na planta, foram maiores para os tratamentos que receberam calcário em quase todas as combinações com as doses ECaCO_3 e de N (Tabela 6). No entanto, PRADO et al. (2003) ao estudarem o efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo, não observaram diferenças significativas para as concentrações de cálcio entre os materiais corretivos (calcário e silicato) e as doses dos mesmos elementos aplicados no solo sob o cultivo da cana-de-açúcar. Observou-se ainda que a interação tripla para os teores de Ca e Mg devem ter sido significativas devido às diferenças encontradas entre as fontes, pois tanto as doses crescentes de ECaCO_3 como as de N não tiveram influência no teor destes elementos na planta (Tabela 7 e 8). MAUAD (2001), ao estudar a interação entre uma fonte silicatada e o nitrogênio na cultura do arroz, obteve diminuição do Ca e nenhuma alteração para o Mg em função das doses de N aplicadas.

Assim como o Ca e o Mg, a interação tripla entre os fatores foi significativa para os resultados de enxofre na planta, devido às diferenças encontradas entre as duas fontes estudadas. O calcário foi superior à escória na interação entre a dose de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e de 320 mg dm^{-3} de N (Tabela 6). No entanto, o aumento das doses de ECaCO_3 combinada com as doses de 160 e 320 mg dm^{-3} de N fez com que a escória tivesse um comportamento superior ao do calcário. O teor de S nas folhas não foi influenciado pelas doses dos materiais corretivos (Tabela 7) nem pelas doses de N (Tabela 8).

Com relação aos micronutrientes avaliados, o Cu apresentou maior teor nas plantas que receberam a aplicação de calcário no solo para a maioria das combinações entre as doses de ECaCO_3 e de N (Tabela 6). CARVALHO (2000)

observou que os tratamentos com silicato não apresentaram interferência nos teores de cobre na planta. O zinco, por sua vez, na maioria das combinações, esteve em maior teor nas plantas que receberam escória (Tabela 6). As doses de ECaCO_3 proporcionaram aumentos nos teores de Cu para as interações entre calcário e 80 mg dm^{-3} de N e diminuição nos tratamentos que receberam escória e a mesma dose de N (Tabela 7). Além disso, verificou-se que o teor de zinco diminuiu com a aplicação das crescentes doses de ECaCO_3 , combinadas com todas as doses de N e independente da fonte usada (Tabela 7).

As doses de N contribuíram para que houvesse um aumento nos teores de Cu na planta com a aplicação de calcário nas doses $1,3$ e $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e para a escória na dose de $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 (Tabela 8). É válido ressaltar que somente na aplicação das doses crescentes de N, em combinação com a escória e com a dose de $1,3 \text{ dm}^{-3}$ ECaCO_3 , foi possível observar diminuição no teor de Cu (Tabela 8). O teor de zinco na planta apresentou um comportamento contrário ao teor de Cu em função das doses ECaCO_3 combinadas com as doses de N e da fonte corretiva (Tabelas 6 e 7). As doses de N também apresentaram tendências em diminuir o teor de Zn na planta com as combinações de ECaCO_3 e das fontes (Tabela 8).

De acordo com a Tabela 5, o Fe e o Mn não apresentaram interação tripla significativa. Desta forma, os resultados serão apresentados de acordo com as interações duplas significativas pelo teste de F.

Observando a Figura 4a, nota-se que tanto para o emprego do calcário como para a escória de aciaria o teor de Fe na planta diminuiu com o aumento das doses de ECaCO_3 . Trabalhos como os de BARBOSA FILHO (1987), TAKAHASHI (1995) e SAVANT et al. (1997b) indicam que o Si pode diminuir a fitotoxidez do ferro em arroz inundado.

Os tratamentos com as doses de N mostraram que o teor de Fe aumentou com a aplicação de calcário e diminuiu nos tratamentos que receberam escória (Figura 4b). A interação entre as doses de ECaCO_3 e as doses de N aumentou o teor de Fe, principalmente com a aplicação das doses de $2,6$ e $5,2 \text{ g dm}^{-3}$

ECaCO₃. A dose de 1,3 g dm⁻³ ECaCO₃ não apresentou equação significativa (Figura 4c).

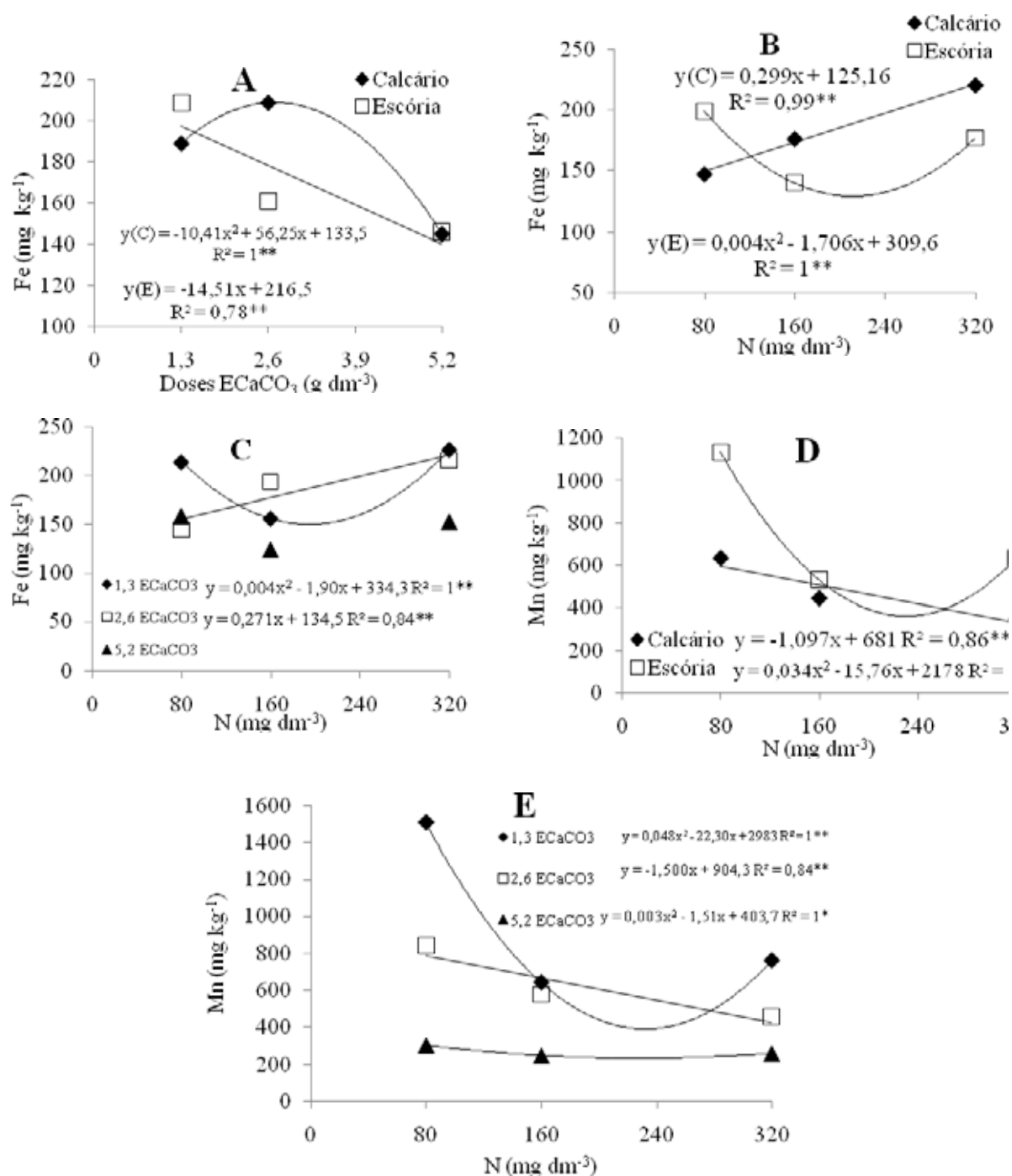


Figura 4. Teor de ferro e manganês em plantas de arroz em função das doses de ECaCO₃ (média da escória de aciaria e calcário) e das doses de nitrogênio.

Com relação ao teor de Mn na planta (Figuras 4 d, e), observa-se que tanto para as fontes de corretivos estudadas como para a interação entre as doses de ECaCO_3 e as doses de N houve uma diminuição deste nutriente na planta, podendo ser justificadas pela menor disponibilidade deste elemento no solo, devido aos aumentos de pH ocorridos pela reação do calcário no solo (Figura 2c). Embora a disponibilidade de Mn no solo tenha aumentado com as doses de escória (Figura 2c), o teor na planta diminuiu (Figuras 4 d, e). O menor teor deste elemento na planta, observado no tratamento que recebeu escória, está de acordo com os resultados obtidos por VERMAS & MINHAS (1989) que constataram diminuições dos teores de Mn em plantas de arroz cultivadas em meio com Si. Eles atribuíram essa redução ao acúmulo de Mn nas raízes e à conseqüente redução desse elemento na translocação para a parte aérea das plantas.

O zinco foi encontrado em maior teor com a aplicação da escória em comparação ao calcário para a maioria das combinações entre doses ECaCO_3 e de N (Tabela 6). No entanto, as interações entre as doses crescentes de ECaCO_3 com as fontes e as doses de N (Tabela 7) ou as crescentes doses de N com interação entre as fontes e as doses de ECaCO_3 (Tabela 8) reduziram o teor de Zn na planta. CARVALHO (2000) e PEREIRA et al. (2003) também observaram redução no teor de zinco com o aumento das doses de silicatos aplicados na cultura do arroz e tomate, respectivamente.

Efeitos dos tratamentos na altura das plantas, número de colmos, massa seca, número de panículas e massa seca de grãos

Observa-se na Tabela 9 que os tratamentos do fatorial foram superiores à testemunha absoluta em todas as variáveis analisadas. Além disso, verifica-se ainda que houve interação tripla significativa para a massa seca da parte aérea, para o número de panículas e para a massa seca de grãos.

Em relação à altura das plantas foi observado efeito significativo somente para as doses de N. Resultados semelhantes dos efeitos positivos do nitrogênio na altura do arroz também foram verificados por ARF (1993) e ALVAREZ (2004) que pesquisou a produção do arroz em função da adubação com silício e nitrogênio no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão.

Da mesma forma que a altura, o número de colmos do arroz foi afetado significativamente apenas em função da aplicação do nitrogênio. No entanto, foram observadas interações significativas entre as fontes (F) e as doses de material corretivo (DC) e entre as fontes e as doses de nitrogênio (DN) (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito de fontes de corretivos (F), doses de corretivos (DC) e doses de nitrogênio (DN) sobre as variáveis de crescimento e produção de arroz.

Tratamentos	Altura	Número de colmos por vaso	Massa seca parte aérea	Panículas por vaso	Massa seca de grãos
	cm	-	g por vaso	-	g por vaso
Fatorial	88,2 a	13,1 a	15,1 a	8 a	8,68 a
Testemunha	51,0 b	5,0 b	1,6 b	4 b	1,2 b
Fatorial x Testemunha	234,9 **	81,4**	344,34**	48,27**	121,34 **
Teste de F					
F	0,38 ^{ns}	1,81 ^{ns}	107,52**	7,14**	1,49 ^{ns}
DC	1,92 ^{ns}	2,53 ^{ns}	57,97**	9,83**	14,89**
DN	16,46**	63,02**	469,75**	51,78**	20,01**
F x DC	1,41 ^{ns}	8,19 **	46,99**	3,83*	5,87**
F x DN	1,10 ^{ns}	5,06 *	17,43**	4,94*	9,42**
DC x DN	1,88 ^{ns}	1,55 ^{ns}	32,84**	6,66**	8,14**
FxDCxDN	1,88 ^{ns}	1,61 ^{ns}	21,91**	10,33**	19,36**
C.V.(%)	5,4	13,7	9,7	12,7	16,0

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. **, * e ^{ns} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

A aplicação do calcário, nas doses crescentes de ECaCO_3 , afetou o número de colmos (Figura 5a), sendo que a dose de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 proporcionou maior valor em relação às demais doses. Isto indica que a correção da acidez do solo com a aplicação do calcário resultou em diminuição do número de colmos das

plantas. Em se tratando da escória, no entanto, seu uso não apresentou nenhuma regressão polinomial significativa para o número de colmos.

A aplicação de nitrogênio promoveu efeito linear no perfilhamento do arroz em solo submetido aplicação de calcário e efeito quadrático no solo submetido a aplicação da escória de aciaria (Figura 5b). Estas observações discordam dos resultados encontrados por ALVAREZ (2004) que verificou um aumento linear do número de colmos na presença de silício em função do aumento das doses de N (0, 30, 60, 90 kg de N ha⁻¹) em comparação aos tratamentos que não receberam adubação com silício. O aumento observado no número de colmos pode ser justificado pelos acúmulos de N, em função das doses aplicadas deste elemento, favorecendo a capacidade de perfilhamento da planta. Este efeito do N no perfilhamento do arroz também foi constatado por MAUAD (2001) que estudou a produção de plantas de arroz de sob a ação de silício e nitrogênio combinados em três doses de N (5, 75, 150 mg de N/kg de solo) e quatro doses de Si (0, 200, 400 e 600 mg de SiO₂/kg de solo) .

A Tabela 9 indica que o tratamento testemunha apresentou produção de massa seca na parte aérea (MSPA) das plantas de arroz significativamente menor do que o grupo de tratamentos correspondentes ao fatorial fontes, doses de corretivos e doses de N.

De acordo com a análise de variância para a massa seca da parte aérea, verificou-se significância para a interação tripla entre as fontes, as doses dos corretivos e as doses de N (Tabela 9).

Analisando o efeito das fontes para a produção MSPA, verificou-se que a maior produção ocorreu com a aplicação da escória de aciaria para as interações entre 1,3 g dm⁻³ de ECaCO₃ e 160 e 320 mg dm⁻³ N e entre a aplicação de 5,2 g dm⁻³ de ECaCO₃ e 160 e 320 mg dm⁻³ de N (Tabela 10). Provavelmente, a aplicação da escória de aciaria no solo e a maior disponibilidade de silício para as plantas fizeram com que houvesse melhoria na arquitetura da planta. Este fato foi considerado como sendo um dos efeitos indiretos do silício, o que resultou num aumento da taxa fotossintética por menor abertura do ângulo foliar (DEREN et al.,

1994). Isso permitiu, então, uma maior captação da energia luminosa (YOSHIDA et al., 1962), favorecendo um aumento da MSPA. Sendo assim, o resultado do presente trabalho está de acordo com os relatos de TAKAHASHI (1995) e CARVALHO-PUPATTO et al. (2003) que verificaram maior captação luminosa e conseqüentemente maior fotossíntese com aumentos na produção de massa seca.

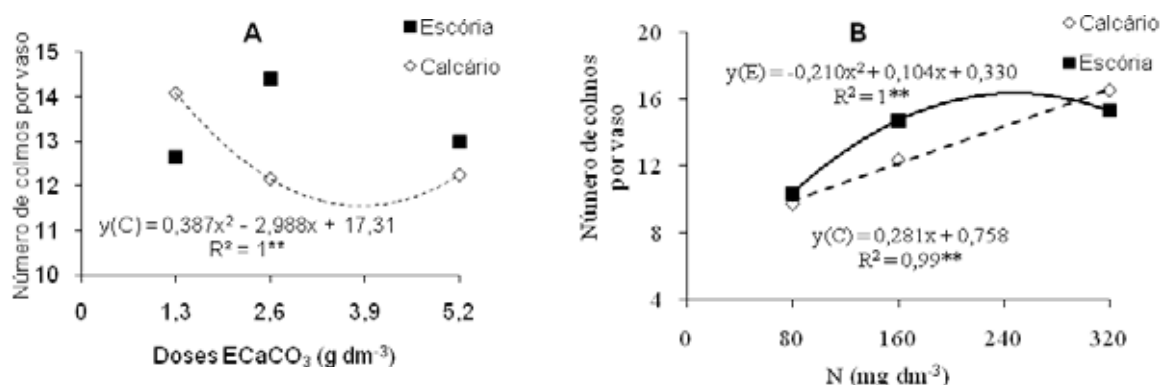


Figura 5. Efeito das doses de nitrogênio e de equivalente de CaCO_3 (média da escória de aciaria e calcário) no perfilhamento (A), (B) em função da aplicação do calcário e da escória silicatada, na cultura do arroz de terras altas.

As doses dos materiais corretivos proporcionaram diminuição na produção de MSPA para as interações entre o calcário e as doses de 160 e 320 mg dm^{-3} de N e também para a escória e as doses de 160 e 320 mg dm^{-3} de N (Tabela 11). Esse resultado poderia ser explicado pelo fato de o arroz ser considerado como uma espécie adaptada a condições de acidez do solo, o que diminui a produção de MSPA.

FAGERIA & ZIMMERMANN (1998) e FAGERIA (2000) relataram que o aumento de pH acima da faixa de 5 e 5,5, diminui a produção de MSPA. Neste trabalho, notou-se uma elevação do pH de 4,6 para 6,0 com a aplicação das doses crescentes dos materiais corretivos (Figura 2 a), e houve então, diminuição da MSPA.

Tabela 10. Massa seca da parte aérea, número de panículas e massa seca de grãos das fontes corretivas, dentro de cada combinação de doses dos materiais corretivos e de nitrogênio

Fontes	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)								
	1,3			2,6			5,2		
	N (mg dm ⁻³)								
	80	160	320	80	160	320	80	160	320
Massa seca da parte aérea (g por vaso)									
Calcário	6,9 a	13,5 b	20,2 b	7,4 a	17,6 a	18,1 a	8,7 a	11,2 b	16,3 b
Escória	7,3 a	28,9 a	28,0 a	8,5 a	15,7 a	19,8 a	9,8 a	14,4 a	18,6 a
Número de panículas por vaso									
Calcário	7 a	9 b	9 a	6 a	8 b	10 b	6 b	7 a	10 a
Escória	5 b	11 a	10 a	7 a	10 a	12 a	8 a	8 a	7 b
Massa seca de grãos (g por vaso)									
Calcário	5,9 a	9,7 a	9,0 a	7,7 a	13,5 a	7,6 b	8,4 a	7,8 b	11,4 a
Escória	7,1 a	4,0 b	10,4 a	5,5 b	8,4 b	11,1 a	10,0 a	11,7 a	9,4 b

a,b – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 11. Massa seca da parte aérea, número de panículas e massa seca de grãos das doses dos materiais corretivos, dentro de cada combinação de fontes corretivas e de nitrogênio

Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	N (mg dm ⁻³)					
	80	160	320	80	160	320
Massa seca da parte aérea (g por vaso)						
1,3	7,0 a	13,6 b	20,2 a	7,4 a	28,9 a	28,0 a
2,6	7,5 a	17,7 a	18,2 a	8,5 a	15,8 b	19,9 b
5,2	8,8 a	11,3 b	16,4 b	9,8 a	14,5 b	18,7 b
Número de panículas por vaso						
1,3	7 a	9 a	9 a	5 b	11 a	10 b
2,6	6 a	8 a	10 a	7 a	10 a	12 a
5,2	6 a	7 a	10 a	8 a	8 b	7 b
Massa seca de grãos (g por vaso)						
1,3	6,0 b	7,7 b	8,4 b	7,1 b	5,5 c	10,0 a
2,6	9,7 a	13,5 a	7,8 b	4,0 c	8,4 b	11,7 a
5,2	9,0 a	7,6 b	11,5 a	10,0 a	11,1 a	9,4 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 12. Massa seca da parte aérea, número de panículas e massa seca de grãos das doses de nitrogênio, dentro de cada combinação de fontes corretivas e doses dos materiais corretivos

N (mg dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)					
	1,3	2,6	5,2	1,3	2,6	5,2
Massa seca da parte aérea (g por vaso)						
80	7,0 c	7,5 b	8,8 c	7,4 b	8,5 c	9,8 c
160	13,6 b	17,7 a	11,3 b	28,9 a	15,8 b	14,5 b
320	20,2 a	18,2 a	16,4 a	28,0 a	19,9 a	18,7 a
Número de panículas por vaso						
80	7a	6 b	7 b	6 b	8 c	8 a
160	9 a	9 a	7 b	11 a	10 b	8 a
320	9 a	10 a	11 a	10 a	12 a	7 a
Massa seca de grãos (g por vaso)						
80	6,0 b	7,7 b	8,4 b	7,1 b	5,5 c	10,0 a
160	9,7 a	13,5 a	7,8 b	4,0 c	8,4 b	11,7 a
320	9,0 a	7,6 b	11,5 a	10,0 a	11,1 a	9,4 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

O incremento da aplicação de N resultou em aumento na produção de MSPA, tanto para o calcário como para a escória combinados com as doses ECaCO₃ (Tabela 12). O N, como um dos elementos essenciais para o arroz, participa da divisão celular e da constituição dos tecidos (MALAVOLTA et al., 1997). Assim, o aumento na produção de MSPA resultante do incremento das doses de N é devido à participação deste nutriente na produção de tecido vegetal.

Para a variável número de panículas por vaso, observou-se que a interação tripla foi significativa (Tabela 9). Entre as fontes estudadas (Tabela 10), verifica-se que para a maioria das situações, o tratamento que recebeu escória apresenta-se com maior número de panículas nas plantas de arroz em comparação ao calcário, sendo este último superior nas combinações entre 1,3 g dm⁻³ de ECaCO₃ e 80 mg dm⁻³ de N e 5,2 g dm⁻³ de ECaCO₃ com a dose de 320 mg dm⁻³ de N. Para as doses de ECaCO₃, não foi observada nenhuma diferença para o número de panículas em decorrência da combinação entre o calcário e as doses de N (Tabela 11).

A escória e a respectiva aplicação de 80 mg dm^{-3} de N, por sua vez, mostram que, à medida que foram aumentadas as doses ECaCO_3 , houve um aumento do número de panículas. No entanto, a aplicação das doses crescentes de ECaCO_3 e as combinações entre a aplicação da escória e das maiores doses de N (160 e 320 mg dm^{-3} de N) proporcionaram menor número de panículas (Tabela 11). De acordo com a Tabela 12 as crescentes doses de N proporcionaram aumento no número de panículas em decorrência da combinação entre as duas fontes e as doses de ECaCO_3 . O aumento observado com as doses de N poderia ser justificado pelo fato do nitrogênio participar de funções estruturais na planta, como multiplicação e diferenciação celulares, promovendo um maior perfilhamento, favorecendo, então, a transformação de uma maior quantidade de gemas vegetativas em reprodutivas. Estes resultados estão de acordo com BARBOSA FILHO (1991), MAUAD (2001) e ALVAREZ (2004).

Os dados de MSG apresentados na Tabela 10 indicaram que o calcário foi superior à escória de aciaria para a maioria das combinações (dose de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ de ECaCO_3 com a dose de 160 mg dm^{-3} de N, $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e 80 e 160 mg dm^{-3} de N e também na dose de $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 com a dose de 320 mg dm^{-3} de N).

A maior produção de MSG ocorreu com a aplicação da escória de aciaria somente onde houve a combinação das doses de $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 com a dose de 320 mg dm^{-3} de N e com a dose de $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 com a dose de 320 mg dm^{-3} de N. No entanto, MARCHEZAN et al. (2004), ao trabalharem com a aplicação de silicato de cálcio e calcário em arroz irrigado, na dose de 2.000 kg ha^{-1} , não encontraram diferença em relação ao rendimento de grãos.

Para as doses dos materiais corretivos (Tabela 11), nota-se que para o calcário, a aplicação da dose de $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 combinada com a dose de 160 mg dm^{-3} de N (ambas recomendadas para a cultura do arroz) proporcionou os valores mais altos para a produção de MSG. Para a escória de aciaria, a combinação entre a dose de $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e as doses de 80 e 160 mg dm^{-3} de N resultaram em maior produção de MSG. REIS et al., (2008), ao estudarem duas cultivares de arroz (IAC 201 e IAC 202), sendo a última também utilizada

neste experimento, observaram que a aplicação de doses crescentes de silício não influenciou na produtividade do arroz.

Observou-se que as doses de nitrogênio proporcionaram aumento na produção de MSG nas combinações entre o calcário e as doses de 1,3 e 5,2 de g dm^{-3} ECaCO_3 e para a escória de aciaria, nas doses de 1,3 e 2,6 g dm^{-3} de ECaCO_3 (Tabela 12).

No entanto, BARBOSA FILHO (1991) relatou que altas doses de N induzem à formação de grande número de colmos e de folhas e isso pode proporcionar condições desfavoráveis para a produção do arroz, em função de um propício acamamento e sombreamento das plantas. no presente trabalho não foram observadas diminuições de produção de grãos do arroz em função das altas doses de N e de materiais corretivos.

Acúmulo de macro e micronutrientes nas plantas

O acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas é reflexo do teor desses nutrientes no tecido da planta e com a produção de massa seca da mesma. Os resultados dos valores acumulados de macronutrientes (mg por vaso) e micronutrientes (μg por vaso) na planta, em função do tipo de corretivo, doses dos corretivos e das doses de nitrogênio estão apresentados na Tabela 13.

Observa-se que o valor acumulado dos nutrientes pelas plantas de arroz, nos tratamentos que constituíram o fatorial, foi significativamente maior que os valores encontrados para a testemunha absoluta (Tabela 13).

Ainda na Tabela 13, observa-se que houve interações triplas significativas para a maioria dos nutrientes acumulados. Somente o Mg não apresentou interação tripla significativa.

O maior acúmulo de nitrogênio ocorreu nos tratamentos que receberam escória em combinação com a dose de 1,3 g dm^{-3} ECaCO_3 e as doses de 160 e 320 mg dm^{-3} de N (Tabela 14). Isso pode ser justificado pela grande quantidade de massa seca da parte aérea produzida neste tratamento. O acréscimo nas doses dos materiais corretivos (Tabela 15) resultou em aumento do N acumulado

somente para as aplicações de calcário ou de escória combinados com a dose de 80 mg dm^{-3} de N.

No entanto, a combinação das doses crescentes dos materiais corretivos, calcário ou da escória e as doses de N proporcionaram diminuições do acúmulo de N na planta. O decréscimo ocorrido no acúmulo de N com as doses dos materiais corretivos está ligado à menor produção de massa seca da parte aérea. Já as doses crescentes de N combinadas com as fontes e todas as doses dos materiais corretivos induziram o acúmulo desse elemento (Tabela 16).

Com relação ao acúmulo de fósforo, potássio, cálcio, enxofre, cobre e ferro, nota-se que o comportamento do calcário e da escória de aciaria foi semelhante. Entretanto, em apenas algumas combinações entre as doses de ECaCO_3 e de N observou-se diferenças entre essas duas fontes (Tabela 14).

O acúmulo de fósforo, em função das doses crescentes de ECaCO_3 , foi menor quando se combinou calcário com a dose de 320 mg dm^{-3} de N e escória com a dose de 160 mg dm^{-3} de N. Nas demais combinações entre as fontes e as doses de N, o acúmulo de P foi semelhante para as doses de ECaCO_3 (Tabela 15). As doses crescentes de N (Tabela 16) proporcionaram aumento no P acumulado para a maioria das combinações entre as fontes e as doses de ECaCO_3 . O maior acúmulo de P poderia ser atribuído ao aumento na produção de massa seca em decorrência do aumento das doses de N.

O acúmulo de potássio, em função das doses crescentes de ECaCO_3 , por sua vez, foi menor quando se fez combinações de calcário ou de escória na dose de 160 mg dm^{-3} de N (Tabela 15). A aplicação de calcário e a dose de 320 mg dm^{-3} de N diminuiu o acúmulo de K com as crescentes doses de ECaCO_3 . Para as demais combinações, nenhum efeito significativo foi observado. As doses crescentes de N (Tabela 16) proporcionaram aumentos no acúmulo de K em todas as combinações entre fontes e ECaCO_3 .

Tabela 13. Valores médios acumulados de macro e micronutrientes em plantas de arroz cultivado sobre aplicação de dois corretivos (F) em três doses (DC) e três doses de nitrogênio (DN)

Tratamentos	mg por vaso -----										----- µg por vaso -----			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn				
Fatorial	172,5 a	12,2 a	141,2 a	74,7 a	44,1 a	31,9 a	84,3 a	2728 a	8873 a	401 a				
Testemunha	10,7 b	3,2 b	23,4 b	6,07 b	2,0 b	5,6 b	8,3 b	231 b	6850 b	149 b				
Fator x Testemun	244,75 **	59,32**	127,8**	132,44 **	217,76**	79,2**	72,74**	60,38**	3,92*	19,58**				
Teste de F														
F	28,77**	4,85*	6,35*	0,83 ^{ns}	5,04*	25,53**	3,96*	3,21 ^{ns}	151,78**	324,52**				
DC	58,28**	16,9**	1,48 ^{ns}	1,93 ^{ns}	27,37**	44,71**	5,59**	35,74**	182,28**	119,86**				
DN	817,34**	91,66**	52,75 **	177,28 **	406,81 **	165,76**	148,1**	109,70**	23,99**	80,70**				
F x DC	26,17**	4,90*	5,55**	1,99 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,39 ^{ns}	10,81**	18,58**	24,36**	11,34**				
F x DN	9,25**	6,08**	7,41**	7,95 **	0,31 ^{ns}	6,69**	7,51**	1,19 ^{ns}	7,86**	26,78**				
DC x DN	22,23**	11,51**	19,04**	5,45**	5,42**	11,58**	7,12**	12,39**	9,02**	12,80**				
FxDcxDN	9,96**	12,00**	17,71**	5,21**	2,07 ^{ns}	7,21**	3,86**	4,23**	7,09**	21,15**				
C.V.(%)	12,27	19,3	15,0	16,3	13,2	18,8	21,6	24,0	22,6	19,5				

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1 e 5%. **, * e ^{ns} - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

As Tabelas 7 e 8 apresentaram os teores de Ca na planta decorrentes das interações e nenhum efeito significativo foi observado. No entanto, o acúmulo de Ca com as crescentes doses de ECaCO_3 tendeu a diminuir ao se realizar as interações de calcário e as doses de 160 e 320 mg dm^{-3} de N e a combinação da escória e a dose de 160 mg dm^{-3} de N (Tabela 15), em função da menor produção de massa seca. Com relação às doses de N (Tabela 16), observa-se que houve um incremento no acúmulo de Ca para todas as combinações entre as fontes e as doses de ECaCO_3 . Provavelmente, este acúmulo elevado ocorreu em decorrência do aumento da massa seca proporcionada com as crescentes doses de N.

O acúmulo de magnésio diferenciou-se dos demais nutrientes por não apresentar interação tripla para esta avaliação. A única interação significativa foi entre as doses de materiais corretivos e as doses de N, como pode ser observado na Figura 7. A aplicação das doses de N promoveu efeito linear no acúmulo de Mg combinado com todas as doses de ECaCO_3 . Nota-se que o aumento das doses de N proporcionou acréscimos de Mg acumulado em todos os níveis de ECaCO_3 estudados. Verificou-se ainda que a dose de 2,6 ECaCO_3 recomendada para a cultura do arroz, e o dobro da dose apresentaram efeitos semelhantes em relação ao acúmulo de Mg na planta.

Observou-se que os acúmulos de S, Cu, Fe, Mn e Zn foram menos pronunciados com as crescentes doses de ECaCO_3 (Tabela 15) para todas as combinações entre as fontes e as doses de N, provavelmente em função da menor produção de massa seca da parte aérea do arroz decorrente de um comportamento de tolerância à acidez da cultura (Tabela 11).

Devido à maior produção de massa seca da parte aérea resultante da aplicação das crescentes doses de N (Tabela 12), verificou-se que o acúmulo de S, Cu, Fe, Mn e Zn aumentou com as doses de N para todas as combinações entre as fontes e as doses de ECaCO_3 (Tabela 16).

Tabela 14. Quantidades acumuladas de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco das fontes corretivas, dentro de cada combinação de doses dos materiais corretivos e de nitrogênio

Fontes	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)								
	1,3			2,6			5,2		
	N (mg dm ⁻³)								
	80	160	320	80	160	320	80	160	320
N (mg por vaso)									
Calcário	56,6 a	131,4 b	319,4 b	59,3 a	144,0 a	290,5 a	77,0 a	121,8 a	238,2 a
Escória	58,6 a	283,9 a	385,7 a	64,2 a	151,2 a	298,4 a	66,9 a	107,8 a	250,5 a
P (mg por vaso)									
Calcário	7,7 a	13,1 b	17,1 a	6,5 a	10,6 a	17,1 a	7,7	11,5 a	13,5 a
Escória	6,8 a	25,3 a	16,1 a	7,4 a	14,2 a	14,8 a	7,3	7,3 b	16,4 a
K (mg por vaso)									
Calcário	91,4 a	125,7 b	152,9 a	101,4 a	237,5 a	74,1 b	150,0 a	138,9 a	144,3 a
Escória	95,6 a	215,1 a	162,1 a	101,1 a	158,4 b	146,5 a	124,0 a	148,7 a	173,1 a
Ca (mg por vaso)									
Calcário	30,6 a	77,3 b	123,4 a	45,5 a	88,8 a	106,1 a	48,1 a	64,1 a	99,6 a
Escória	36,1 a	110,5 a	89,1 b	33,7 a	77,0 a	99,1 a	46,4 a	75,8 a	93,5 a
S (mg por vaso)									
Calcário	13,5 a	30,8 b	57,3 a	16,6 a	36,7 a	45,3 a	12,8 a	14,0 b	29,7 b
Escória	16,0 a	60,6 a	53,5 a	19,2 a	38,2 a	49,2 a	16,8 a	24,2 a	41,6 a
Cu (µg por vaso)									
Calcário	34,9 a	50,6 b	140,2 a	26,2 a	79,8 a	148,8 a	58,6 a	73,3 a	110,3 a
Escória	51,3 a	137,1 a	140,5 a	33,7 a	88,0 a	133,3 a	49,1 a	65,5 a	97,4 a
Fe (µg por vaso)									
Calcário	1176 a	2106 b	4911 b	1094 a	4121 a	4530 a	1094 a	1545 a	2785 a
Escória	1878 a	4501 a	5987 a	1229 a	2453 b	3637 a	1900 a	1584 a	2570 a
Mn (µg por vaso)									
Calcário	8361 a	8586 b	11110 b	3823 b	9836 a	6173 b	1652 a	1687 a	2662 b
Escória	13292 a	18740 a	27183 a	9998 a	9585 a	11326 a	4114 a	4957 a	6626 a
Zn (µg por vaso)									
Calcário	225,2 b	270,6 b	523,4 b	136,3 b	361,0 b	331,9 b	84,7 b	90,1 b	139,2 b
Escória	428,9 a	12050 a	698,8 a	320,8 a	682,9 a	722,9 a	249,9 a	332,3 a	429,7 a

a,b – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 15. Quantidades acumuladas nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco das doses dos materiais corretivos, dentro de cada combinação de fontes corretivas e de nitrogênio

Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	N (mg dm ⁻³)					
	80	160	320	80	160	320
	N (mg por vaso)					
1,3	56,6 b	131,4 b	319,5 a	58,6 b	284,0 a	385,7 a
2,6	59,3 b	144,0 a	290,5 b	64,3 a	151,3 b	298,4 b
5,2	77,1 a	121,8 c	238,3 c	66,9 a	107,8 c	250,5 c
	P (mg por vaso)					
1,3	7,8 a	13,1 a	17,1 a	6,9 a	25,3 a	16,1 a
2,6	6,5 a	10,6 a	17,2 a	7,5 a	14,2 b	14,8 a
5,2	7,7 a	11,5 a	13,5 b	7,3 a	7,3 c	16,4 a
	K (mg por vaso)					
1,3	91,4 a	125,7 b	153,0 a	95,6 a	215,2 a	162,1
2,6	101,4 a	237,5 a	74,1 b	101,2 a	158,4 b	146,5
5,2	150,1 a	138,9 b	144,3 a	124,1 a	148,7 b	173,1
	Ca (mg por vaso)					
1,3	30,6 a	77,4 a	123,4 a	36,1 a	110,5 a	89,2 a
2,6	45,5 a	88,8 a	106,2 b	33,7 a	77,0 b	99,2 a
5,2	48,2 a	64,2 b	99,6 b	46,4 a	75,8 b	93,5 a
	S (mg por vaso)					
1,3	13,5 a	30,8 a	57,3 a	16,1 b	60,7 a	52,5 a
2,6	16,7 a	36,6 a	45,3 b	19,2 a	38,2 b	49,2 a
5,2	12,8 a	14,0 b	29,7 c	16,8 b	24,2 c	41,6 b
	Cu (µg por vaso)					
1,3	34,9 a	50,6 a	140,3 a	51,3 a	137,1 a	140,5 a
2,6	26,2 b	79,8 a	148,8 a	33,8 b	88,0 b	133,3 a
5,2	58,6 a	73,3 a	110,3 b	49,1 a	65,6 c	97,4 b
	Fe (µg por vaso)					
1,3	1177 a	2106 b	4912 a	1879 a	4501 a	5988 a
2,6	1095 a	4122 a	4530 a	1229 a	2453 b	3638 b
5,2	1095 a	1545 b	2786 b	1901 a	1585 b	2571 b
	Mn (µg por vaso)					
1,3	8361 a	8586 a	11110 a	13292 a	18740 a	27184 a
2,6	3824 b	9836 a	6174 b	9999 b	9585 b	11327 b
5,2	1653 b	1688 b	2663 c	4115 c	4958 c	6626 c
	Zn (µg por vaso)					
1,3	225 a	271 a	523 a	429 a	1205 a	699 a
2,6	136 a	361 a	332 b	321 a	683 b	723 a
5,2	85 b	90 b	139 c	250 a	332 c	430 b

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 16. Quantidades acumuladas nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre, cobre, ferro, manganês e zinco das doses de nitrogênio, dentro de cada combinação de fontes corretivas e doses dos materiais corretivos

N (mg dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)					
	1,3	2,6	5,2	1,3	2,6	5,2
N (mg por vaso)						
80	56,6 c	59,3 c	77,1 c	58,6 c	64,3 c	66,9 c
160	131,4 b	144,0 b	121,8 b	284,0 b	151,3 b	107,8 b
320	319,5 a	290,5 a	238,3 a	385,7 a	298,4 a	250,5 a
P (mg por vaso)						
80	7,8 c	6,5 c	7,7 b	6,9 c	7,5 b	7,3 b
160	13,1 b	10,6 b	11,5 a	25,3 a	14,2 a	7,3 b
320	17,1 a	17,2 a	13,5 a	16,1 b	14,8 a	16,4 a
K (mg por vaso)						
80	91,4 b	101,4 b	150,1 a	95,6 c	101,2 b	124,1 b
160	125,7 a	237,5 a	138,9 a	215,2 a	158,4 a	148,7 a
320	153,0 a	74,1 c	144,3 a	162,1 b	146,5 a	173,1 a
Ca (mg por vaso)						
80	30,6 c	45,5 c	48,2 c	36,1 c	33,7 c	46,4 c
160	77,4 b	88,8 b	64,2 b	110,5 a	77,0 b	75,8 b
320	123,4 a	106,2 a	99,6 a	89,2 b	99,2 a	93,5 a
S (mg por vaso)						
80	13,5 c	16,7 b	12,8 b	16,1 b	19,2 b	16,8 b
160	30,8 b	36,6 a	14,0 b	60,7 a	38,2 b	24,2 b
320	57,3 a	45,3 a	29,7 a	52,5 a	49,2 a	41,6 a
Cu (µg por vaso)						
80	34,9 b	26,2 c	58,6 b	51,3 b	33,8 c	49,1 c
160	50,6 b	79,8 b	73,3 b	137,1 a	80,0 b	65,6 b
320	140,3 a	148,8 a	110,3 a	140,5 a	133,3 a	97,4 a
Fe (µg por vaso)						
80	1177 c	1095 b	1095 b	1879 c	1229 c	1901 a
160	2106 b	4122 a	1545 b	4501 b	2453 b	1585 a
320	4912 a	4530 a	2786 a	5988 a	3638 a	2571 a
Mn (µg por vaso)						
80	8361 a	3824 b	1653 a	13292 b	9999 a	4115 a
160	8586 a	9836 a	1688 a	18740 b	9585 a	4958 a
320	11110 a	6174 a	2663 a	27184 a	11327 a	6626 a
Zn (µg por vaso)						
80	225 b	136 b	85 a	429 c	321 b	250 b
160	271 b	361 a	90 a	1205 a	683 a	332 a
320	523 a	332 a	139 a	699 b	723 a	430 a

a,b, c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

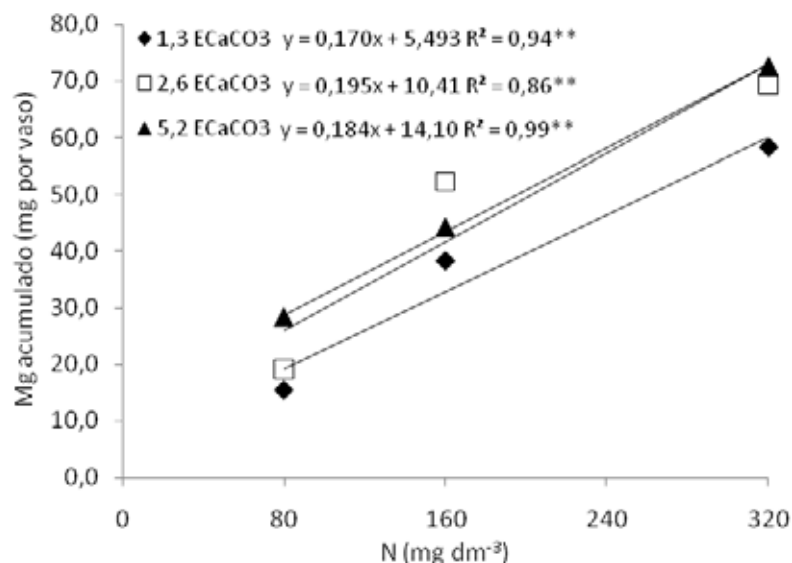


Figura 7. Magnésio acumulado em função das doses de nitrogênio e as doses crescentes de ECaCO₃ (média da escória de aciaria e calcário).

Efeitos dos tratamentos no silício do solo e da planta

Os resultados de silício “disponível” no solo após o período de incubação e ao final do experimento, os teores de silício na parte aérea do arroz (g kg⁻¹) e o silício acumulado (g por vaso) do fatorial em comparação com a testemunha absoluta estão apresentados na Tabela 17.

Houve interação das fontes e das doses dos materiais corretivos para o teor de Si no solo, teor na planta e o acumulado de Si na planta (Tabela 17). Isso indica que o efeito das doses dos materiais corretivos no aumento do Si no solo e da planta depende da fonte de material utilizado.

O silício disponível no solo, após o período de incubação (Figura 8a), e no final do experimento (Figura 8e, f), foi maior nos tratamentos que receberam escória. A maior disponibilidade do Si no solo com a aplicação da escória está associada à presença deste elemento em sua composição (Si solúvel = 19 g kg⁻¹) e também à capacidade de reação e liberação de Si apresentada por esta fonte. Nota-se, também, que tanto para o tratamento com calcário como para o tratamento com a escória, o silício disponível no solo aumentou de forma linear com as doses equivalentes de CaCO₃, após o período de incubação (Figura 8a) e ao final do experimento (Figura 8e).

PEREIRA et al. (2004) também encontraram acréscimos de silício disponível no solo com a aplicação de fontes e doses de escórias.

Tabela 17. Valores médios de silício no solo e na planta cultivada sobre aplicação de dois corretivos em três níveis e três doses de nitrogênio.

Tratamentos	Si no solo		Si na parte aérea (folhas + colmos)	Si acumulado
	Após incubação ⁽¹⁾	Final do experimento ⁽²⁾		
	----- mg kg ⁻¹ -----	-----	g kg ⁻¹	mg por vaso
Fatorial	5,9 a	3,5 a	17 b	248 a
Testemunha	3,6 b	2,8 b	39 a	66 b
Fat. vs Test	858,20 **	27,88 **	540,8 **	112,3**
	Teste de F			
Fontes (F)	4893,21 **	999,85 **	252,2 **	287,05 **
DC	616,10**	237,35**	50,0 **	5,62**
DN	-	11,44 **	148,8 **	63,35 **
F x DC	414,24 **	155,24 **	21,4 **	10,37 **
F x DN	-	6,61**	20,3 **	2,45 ^{ns}
DC x DN	-	1,54 ^{ns}	5,2 **	6,10 **
FxDCxDN	-	0,94 ^{ns}	0,1 ns	4,96**
C.V. (%)	2,8	6,9	9,5	14,0

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

¹ Silício no solo após 90 dias de incubação com os materiais corretivos; ² Silício no solo após a condução do experimento

CAMARGO et al. (2007), ao estudarem o efeito do pH na solubilidade de silício no solo, constataram aumento no silício disponível extraído com CaCl₂ em um Latossolo Vermelho distrófico, com textura média, após a aplicação de calcário, devido à menor adsorção deste elemento na superfície do solo.

CARVALHO-PUPATTO et al. (2004), por sua vez, ao verificarem o efeito da aplicação de uma escória de siderurgia de aciaria sobre os atributos químicos do solo, constataram maior disponibilidade de silício no solo. No presente trabalho, observou-se concentração de silício disponível = 3,0 mg dm⁻³. No entanto, ao final do experimento, o silício disponível no solo foi de 3,6 mg dm⁻³ após a incubação e de 2,8 mg dm⁻³ no final do experimento (Tabela 17). Isso indica baixa concentração do teor de Si do solo (testemunha).

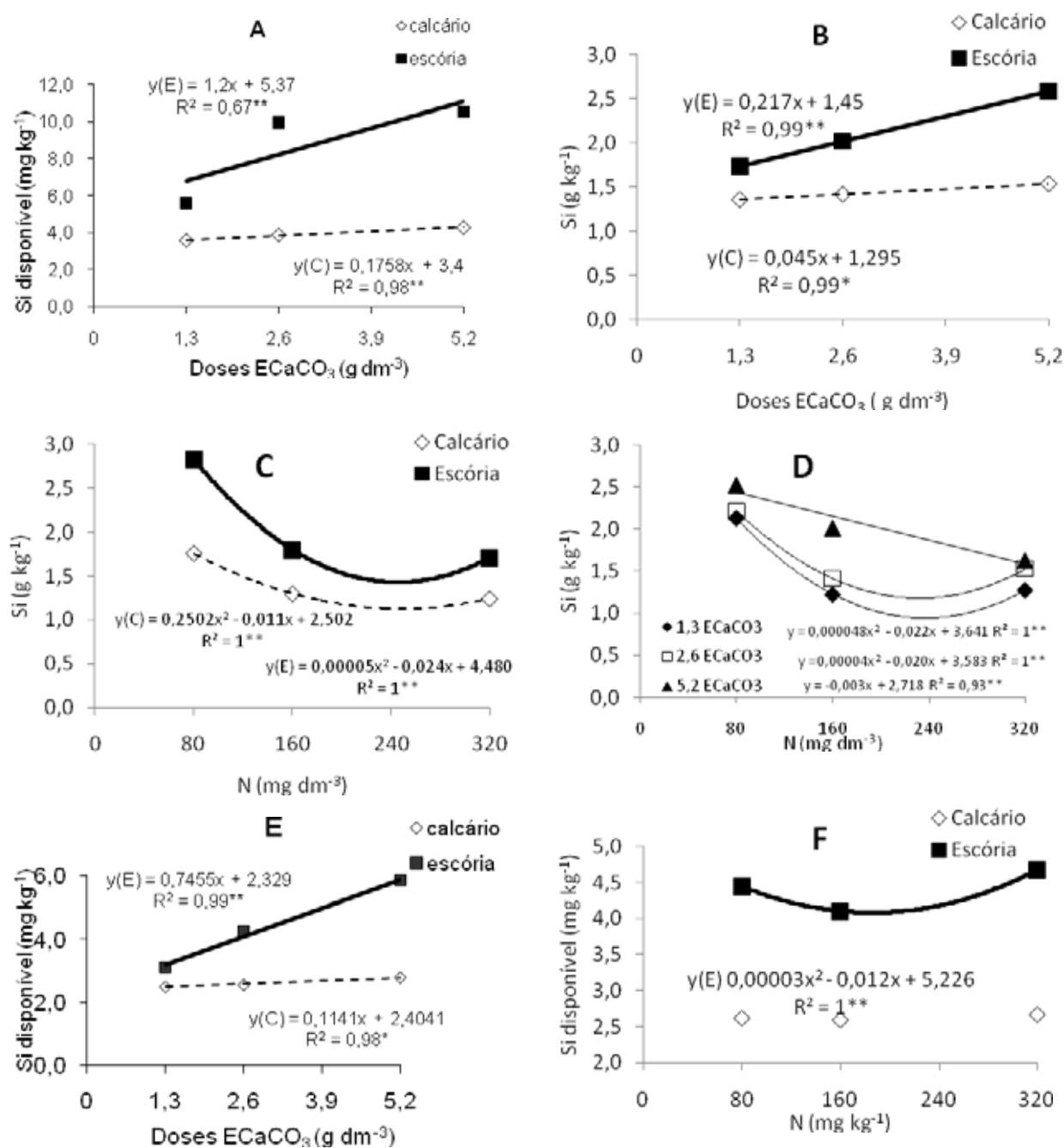


Figura 8. Silício disponível no solo após o período de incubação (a), silício na parte aérea (b, c, d) e silício disponível no solo ao final do experimento (e, f).

As diferenças encontradas foram pequenas para a disponibilidade de Si entre as doses de N aplicadas. As doses de nitrogênio e a aplicação do calcário não aumentaram de forma significativa o Si disponível. Para a escória, verificou-se um efeito quadrático sobre o Si disponível no solo, mas as alterações de sua disponibilidade também foram pequenas (Figura 8f).

Os teores de silício na parte aérea do arroz foram superiores com a aplicação da escória e com as doses crescentes dos materiais corretivos (Figura 8b). No entanto, também foi possível observar aumento no teor de Si na parte aérea da planta com a aplicação de calcário, provavelmente em decorrência da maior disponibilidade deste elemento no solo, como constatado anteriormente. Observou-se ainda que a aplicação de N resultou em menor teor de Si para as duas fontes estudadas (Figura 8d).

Considerando ainda o teor de Si na planta, observou-se efeito significativo da interação entre doses de N e de materiais corretivos. Quando se empregou dose baixa de N, os teores de Si na planta foram maiores com as doses equivalentes dos materiais corretivos em comparação com as doses mais elevadas de N. Notou-se que a aplicação das doses de 160 e 320 mg dm⁻³ de N propiciou os menores teores de Si na parte aérea do arroz em todas as doses dos materiais corretivos. Os dados do teor de Si na planta para a combinação entre as doses de N e as doses de 1,3 e 2,6 ECaCO₃ se ajustaram à função quadrática (Figura 8e) e função linear ficou ajustada à dose de 5,2 de ECaCO₃ (Figura 8e).

De acordo com a interpretação dos teores de Si na planta, propostos por KORNDÖRFER et al. (1999), observou-se que o teor de Si mais alto foi encontrado na menor dose da adubação nitrogenada (80 mg dm⁻³), combinada com a maior dose de material corretivo (5,2 g dm⁻³ ECaCO₃), que foi de 2,5 g kg⁻¹. Verificou-se também que o teor de Si estava em nível médio (17 a 34 g kg⁻¹) na parte aérea da planta. Assim, à medida que a dose de N foi aumentada, houve uma diminuição dos teores de Si na parte aérea para todas as doses dos materiais corretivos. MA et al. (2001) afirmam que o silício disponível no solo pode ser absorvido pelas plantas de arroz como moléculas não dissociadas como ácido silícico (H₄SiO₄) e como formas iônicas que se tornam mais presentes no solo à medida que o pH aumenta.

Sendo assim, a diminuição dos teores de Si na parte aérea das plantas poderia ser justificada pela possível competição entre o H_3SiO_4^- e o NO_3^- pelos sítios de absorção da planta, conforme foi relatado por WALLACE et al. (1976) e WALLACE (1989). Outra justificativa estaria relacionada com a forma preferencial de absorção de N pelas plantas de arroz. O arroz tem preferência por absorver N na forma de NH_4^+ (WANG et al., 1993) e, por questões de balanços de carga na rizosfera, tende a acidificar o solo.

Desta forma, a disponibilidade de silício no solo diminui em função do aumento da acidez e resulta em menor teor de Si na planta (OLIVEIRA et al., 2007). OLIVEIRA et al. (2007) afirmam que o NH_4^+ , produto da reação da uréia, pode diminuir o teor de Si disponível no solo devido à formação de polímeros de Si com NH_4^+ , não detectáveis pelo método de extração de silício por CaCl_2 ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$), empregado neste trabalho.

De acordo com a Tabela 17, as plantas do tratamento testemunha obtiveram maior teor de Si em comparação com os tratamentos do fatorial. Esses resultados poderiam ser justificados por um efeito de concentração do Si na planta, pois estas tiveram um desenvolvimento e uma produção de massa seca da parte aérea muito inferiores às plantas dos tratamentos do fatorial.

O acúmulo de silício na parte aérea foi maior nos tratamentos que receberam escória em decorrência da combinação entre as doses equivalentes de CaCO_3 e as doses de N (Tabela 18).

Considerando as doses dos materiais corretivos (Tabela 19), combinadas com as fontes e as doses de N, a aplicação crescente das doses de ECaCO_3 proporcionou um acúmulo maior de silício nos tratamentos que receberam escória e as doses de 80 e 160 mg dm^{-3} de N. Observou-se também que o aumento da adubação nitrogenada (Tabela 20) proporcionou acréscimo no silício acumulado com a aplicação do calcário e a dose de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ de ECaCO_3 e para a aplicação da escória combinadas com as doses de $1,3$ e $2,6 \text{ g dm}^{-3}$ de ECaCO_3 .

Como pode ser observado nas Tabelas 19 e 20, a quantidade de silício acumulado na parte aérea das plantas de arroz somente apresentou a mesma tendência do teor de silício na planta em decorrência da aplicação das doses crescentes de ECaCO_3 . Além do fator responsável pela queda do teor de Si, proposto

anteriormente por WALLACE (1989), também seria possível ter ocorrido efeito de diluição provocado pelo N. Assim, o incremento da produção de massa seca da parte aérea em virtude do aumento das doses de N não foi acompanhado pela absorção de Si na mesma proporção, o que provocou menor teor deste elemento na planta.

Tabela 18. Silício acumulado na massa seca da parte aérea das plantas de arroz em função das fontes corretivas, dentro de cada combinação de doses dos materiais corretivos e de nitrogênio

Fontes	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)								
	1,3			2,6			5,2		
	N (mg dm ⁻³)								
	80	160	320	80	160	320	80	160	320
	Si acumulado (mg por vaso)								
Calcário	121,5 b	158,6 b	237,4 b	128,7 b	207,2 a	241,0 b	157,9 b	182,1 b	200,1 b
Escória	183,2 a	375,3 a	385,6 a	230,7 a	260,1 a	345,2 a	321,9 a	354,8 a	384,0 a

a,b – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 19. Silício acumulado massa seca da parte aérea das plantas de arroz em função das doses dos materiais corretivos, dentro de cada combinação de fontes corretivas e de nitrogênio

Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	N (mg dm ⁻³)					
	80	160	320	80	160	320
	Si acumulado (mg por vaso)					
1,3	121,5 a	158,6 a	237,4 a	183,2 c	375,3 a	385,6 a
2,6	128,7 a	207,3 a	241,0 a	230,7 b	260,2 b	345,2 a
5,2	157,9 a	182,2 a	200,1 a	321,9 a	354,8 a	384,0 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Análise de solo no final do experimento

A Tabela 21 apresenta os resultados das características químicas do solo ao final do experimento. Nela, fica evidenciado que o pH em CaCl₂, as concentrações de Ca, Mg e Mn, a SB, T e o V% encontram-se com valores superiores aos encontrados para a testemunha absoluta. Também foi verificada significância para as interações

entre as fontes e as doses de materiais corretivos e de nitrogênio, para as variáveis de pH CaCl₂, concentrações de Ca, Mg, H+Al, Cu, Fe, Mn e Zn, SB, T e V%.

Tabela 20. Silício acumulado massa seca da parte aérea das plantas de arroz em função das doses de nitrogênio, dentro de cada combinação de fontes corretivas e doses dos materiais corretivos

N (mg dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)					
	1,3	2,6	5,2	1,3	2,6	5,2
	Si acumulado (mg por vaso)					
80	122 b	129	158 a	183 b	231 b	322 a
160	159 b	207	182 a	375 a	260 b	355 a
320	237 a	241	200 a	386 a	345 a	384 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Analisando-se a interação tripla para o pH em CaCl₂ do solo ao final do experimento, observou-se que a escória apresentou comportamento semelhante ao calcário para a maioria das combinações (Tabela 22), sendo o calcário superior a escória somente na combinação da dose de 1,3 g dm⁻³ ECaCO₃ com a dose de 160 mg dm⁻³ de N. Estes resultados são contrários aos observados por SOUZA et al. (2008) que estudou os atributos químicos do solo influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio e verificou menor eficiência dos silicatos em elevar o pH do solo.

Observa-se ainda que as doses crescentes dos materiais corretivos (Tabela 23) fizeram com que o pH em CaCl₂ do solo aumentasse em ambas as fontes e em todas as doses de N. Por fim, as doses crescentes de N (Tabela 24) só influenciaram no valor do pH do solo para a combinação entre o calcário e a dose de 5,2 g dm⁻³ ECaCO₃ e entre a escória e a dose de 1,3 g dm⁻³ ECaCO₃. Nota-se que a aplicação das doses crescentes de N resultou em diminuições no valor do pH devido a uma provável acidificação do solo decorrente da reação do adubo nitrogenado aplicado.

Observando a interação tripla para a concentração de H+Al no solo, nota-se que a aplicação do calcário proporcionou menor acidez potencial do que a escória para as combinações de 1,3 g dm⁻³ ECaCO₃ com 160 mg dm⁻³ de N (Tabela 22). Por outro lado, as combinações de 2,6 g dm⁻³ ECaCO₃ com 160 mg dm⁻³ de N mostraram uma menor

concentração de H+Al para o tratamento que recebeu escória. No entanto, em ambas as situações não foram observadas diferenças quanto aos valores de pH do solo. O aumento do pH em CaCl₂, devido às crescentes doses dos materiais corretivos (Tabela 22), promoveu a redução da acidez potencial do solo (Tabela 22). MELO (2005), KORNDÖRFER & NOLLA (2003) e FARIA (2000), ao trabalharem com silicatos de Ca e Mg, também observaram reduções na acidez potencial do solo. A aplicação do N fez com que a concentração de H+Al aumentasse nas combinações entre o calcário e as doses de 1,3 e 2,6 g dm⁻³ ECaCO₃ e entre a escória e a dose de 1,3 g dm⁻³ ECaCO₃, devido à liberação de H⁺ para a solução resultante da reação da uréia no solo (Tabela 24).

Analisando a interação tripla dos fatores estudados para a concentração de cálcio no solo, observou-se que a escória apresentou maior eficiência em disponibilizar Ca para a maioria das combinações entre as doses equivalentes de CaCO₃ e de N (Tabela 22).

Prado (2000), ao avaliar as características químicas do solo após a aplicação de calcário e de escória de siderurgia, constatou comportamento semelhante entre as duas fontes corretivas para a concentração de Ca no solo. Além disso, PIAU (1991), ao comparar três escórias de siderurgia com o calcário, quanto ao incremento de cálcio no solo, por meio da verificação da eficiência da referida reação no período de 30 a 90 dias após a incubação, observou eficiência significativa nos primeiros 30 e 60 dias para o calcário e no final do período de 90 dias para a escória.

De acordo com a Tabela 23, observa-se que a aplicação das doses crescentes de equivalentes de CaCO₃ proporcionou aumentos na concentração de cálcio no solo, independente da fonte aplicada e das doses de N. Este resultado demonstra uma continuidade da reação dos materiais corretivos no solo, mesmo depois dos 90 dias de incubação e da condução do experimento. PRADO et al. (2003), ao avaliarem o efeito residual das escórias de siderurgia em um Latossolo Vermelho-Amarelo aluminico sob a cultura da cana-de-açúcar, também encontraram acréscimos nas concentrações de cálcio no solo com o aumento das doses de calcário e de escória.

A aplicação de doses crescentes de N resultou na diminuição da concentração de cálcio no solo para as combinações de calcário e a dose de 2,6 e 5,2 g dm⁻³ ECaCO₃ e para a escória e a dose de 5,2 g dm⁻³ ECaCO₃ (Tabela 24). Uma provável justificativa para esse resultado seria a acidificação do solo ou mesmo da região rizosférica pela reação da uréia no solo, diminuindo o pH e, conseqüentemente, reduzindo a disponibilidade de Ca na solução do solo.

Houve interação tripla dos fatores estudados para as concentrações de magnésio no solo, onde foi maior quando se aplicou calcário e a dose de 5,2 g dm⁻³ ECaCO₃ combinada com todos os níveis de N (80, 160 e 320 mg dm⁻³ de N). Desta forma, apesar da maior quantidade de Mg presente na composição da escória em estudo, observou-se menor liberação desse nutriente desta fonte em comparação ao calcário (Tabela 22).

Além dos aumentos nas concentrações de Ca no solo, observou-se também maior concentração de Mg do solo em função das doses crescentes dos materiais corretivos (Tabela 23). BARBOSA FILHO et al. (2001), ao estudarem os efeitos da aplicação de silicatos de cálcio na cultura do arroz de terras altas, constataram que a disponibilidade de Mg aumentou após a aplicação da fonte.

O Ca e o Mg do solo também apresentou diminuição de suas concentrações após a aplicação de doses crescentes de N (Tabela 24).

De acordo com a Tabela 22, a SB, T e V% foram semelhantes entre o calcário e a escória para a maioria das combinações das doses ECaCO₃ e de N.

A Tabela 23 indica que as doses crescentes dos materiais corretivos proporcionaram aumento nos valores de SB, T e V%, independente da combinação entre o tipo de fonte empregada e a dose de N. Além disso, os aumentos dos valores de SB e de T fizeram com que a saturação por bases atingisse os valores pretendidos para as doses de 1,3 e 2,6 g dm⁻³ ECaCO₃, o que continuou demonstrando o mesmo efeito observado na Figura 3g, que representa V% após o período de incubação. No entanto, após o experimento, não foram observadas reduções da saturação por bases em relação ao registrado no início.

Tabela 21. Valores médios de características químicas do solo em amostras retiradas ao final do experimento em função das fontes (F), doses dos materiais corretivos (DC) e doses de nitrogênio (DN).

Tratamentos	pH	M.O g dm ⁻³	P g dm ⁻³	K mmolc dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V %	Cu	Fe	Mn	Zn
Fatorial	5,4 a	16,7 a	12,4 a	0,7 b	23,7 a	6,8 a	20,7 a	31,3 a	52,2 a	56,7 a	2,1 a	32,0 b	6,5 a	0,2 a
Testemunha	4,3 b	17,0 a	13,7 a	1,0 a	6,0 b	2,0 b	36,0 b	9,0 b	45,1 b	20,5 b	2,3 a	80,0 a	2,8 b	0,2 a
Teste F														
Fatorial x Testemunha	207,26**	0,40 ^{ns}	2,62 ^{ns}	30,13**	294,32**	75,89**	322,96**	163,5**	20,82**	453,02**	2,20 ^{ns}	1013,58**	72,83**	0,63 ^{ns}
F	0,25 ^{ns}	2,16 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,39 ^{ns}	6,32*	29,43**	0,32 ^{ns}	0,494 ^{ns}	1,01 ^{ns}	4,69*	25,46**	56,48**	441,51**	286,4**
DC	715,68**	5,56**	33,47**	1,02 ^{ns}	1005,9**	706,36**	596,23**	755,7**	323,7**	1159,3**	32,49**	848,6**	96,02**	61,21**
DN	5,54**	7,57**	23,18**	12,81**	27,73**	9,79**	15,48**	18,34**	15,23**	21,87**	5,66**	8,56**	9,16**	11,95**
F x DC	0,57 ^{ns}	2,89 ^{ns}	0,81 ^{ns}	6,57**	16,47**	54,01**	2,10 ^{ns}	17,4**	12,56**	22,19**	9,31**	110,76**	82,05**	67,16**
F x DN	4,29*	1,04 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,13 ^{ns}	11,32**	1,17 ^{ns}	1,47 ^{ns}	2,46 ^{ns}	2,56 ^{ns}	2,84 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,11 ^{ns}	2,29 ^{ns}
DC x DN	4,25**	0,10 ^{ns}	0,82 ^{ns}	2,04 ^{ns}	18,97**	5,98**	5,41**	10,8**	10,37**	6,61**	4,99**	24,95**	9,30**	7,49**
F x DC x DN	2,83*	0,08 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,45 ^{ns}	11,94**	7,85**	4,81**	5,21**	3,73**	6,72**	3,04*	9,03**	16,55**	8,24**
C.V.(%)	3,3	4,3	12,5	14,4	8,8	16,4	7,6	11,2	5,9	6,0	15,4	8,48	13,3	21,6

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

Esses resultados indicam uma provável continuidade da reação dos corretivos ao longo do experimento, conforme foi observado por FORTES (2006) ao trabalhar com silicato de cálcio na correção do solo para a produção de gramíneas.

Ao final deste experimento, a disponibilidade de cobre foi semelhante entre o calcário e a escória, sendo que o calcário proporcionou maior concentração desse nutriente somente nas combinações com a dose de $1,3 \text{ g dm}^{-3}$ ECaCO_3 e as doses de 80 e 320 mg dm^{-3} de N (Tabela 22). A aplicação do calcário onde também proporcionou maior disponibilidade de Fe nas primeiras combinações entre doses ECaCO_3 e N. No entanto, nas combinações de $5,2 \text{ g dm}^{-3}$ CaCO_3 com as doses de 160 e 320 mg dm^{-3} de N, a escória mostrou-se superior ao calcário na disponibilidade de Fe para o solo. A disponibilidade de Mn e Zn continuou maior nos tratamentos que receberam escória em comparação ao calcário, para a maioria das combinações entre doses de ECaCO_3 e de N.

Dessa forma, o que se pôde depreender desse experimento foi que a tendência dos micronutrientes é diminuir a sua disponibilidade com o aumento do pH, devido à aplicação de materiais corretivos. Este fato pode ser observado na Tabela 22 que mostra a disponibilidade de Cu e Fe. No entanto, as doses crescentes de ECaCO_3 aumentaram a disponibilidade de Mn e Zn para as combinações de escória e doses de N (Tabela 23). Por fim, os dados referentes às concentrações dos micronutrientes, apresentados na Tabela 24, mostram que as doses de N não proporcionaram variações nos valores de Cu, Fe, Mn e Zn do solo.

Atividade microbiana e enzimática no solo

Ao analisar a atividade microbiana na Tabela 25, observa-se que houve efeito dos corretivos em comparação ao tratamento testemunha. A hidrólise do FDA ocorreu em todos os tratamentos. A atividade microbiológica foi notadamente alta no tratamento que recebeu maior dose de escória e de nitrogênio, com $6,36 \mu\text{g}$ de fluoresceína g^{-1} solo seco hora^{-1} , e foi baixa no tratamento testemunha, que atingiu o valor e $0,90 \text{ } 6,36 \mu\text{g}$ de fluoresceína g^{-1} solo seco hora^{-1} . Os níveis de atividade microbiológica dos tratamentos

que receberam calcário foram similares entre si e apresentaram valores de 4,11 e 4,55 μg de fluoresceína g^{-1} solo seco hora⁻¹.

Tabela 22. Médias de pH CaCl_2 , H+Al, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases do solo, cobre, ferro, manganês e zinco das fontes corretivas, dentro de cada combinação de doses dos materiais corretivos e de nitrogênio

Fontes	Doses ECaCO_3 (g dm^{-3})								
	1,3			2,6			5,2		
	N (mg dm^{-3})								
	80	160	320	80	160	320	80	160	320
	pH CaCl_2								
Calcário	4,7 a	4,7 a	4,6 a	5,4 a	5,2 a	5,2 a	6,2 a	6,5 a	6,0 a
Escória	4,8 a	4,4 b	4,7 a	5,3 a	5,3 a	5,2 a	6,2 a	6,3 a	6,2 a
	H+Al ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)								
Calcário	26,5 a	28,7 b	30,2 a	19,0 a	23,7 a	23,0 a	12,0 a	10,7 a	14,0 a
Escória	26,5 a	32,5 a	28,0 a	20,0 a	20,0 b	21,7 a	11,7 a	11,5 a	14,0 a
	Cálcio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)								
Calcário	12,5 a	14,2 a	12,7 a	22,2 b	16,5 b	15,7 b	37,2 b	46,2 a	31,0 b
Escória	12,2 a	9,5 b	14,0 a	25,2 a	24,0 a	20,2 a	42,5 a	37,5 b	34,0 a
	Magnésio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$)								
Calcário	3,0 a	2,5 a	2,0 a	6,2 a	3,5 b	2,7 a	14,2 a	17,8 a	16,0 a
Escória	2,0 a	1,5 a	2,5 a	6,5 a	6,0 a	4,0 a	12,5 b	11,3 b	9,2 b
	SB								
Calcário	16,2 a	17,7 a	15,4 a	29,4 a	21,0 b	19,2 b	53,1 a	64,7 a	47,5 a
Escória	15,1 a	11,9 b	16,4 a	31,4 a	30,7 a	24,8 a	53,3 a	51,7 b	43,9 a
	T								
Calcário	42,7 a	46,5 a	45,7 a	48,4 a	44,9 b	43,0 a	68,0 a	75,4 a	58,8 a
Escória	41,6 a	43,9 a	44,4 a	51,4 a	50,7 a	46,6 a	66,8 a	63,2 b	58,4 a
	V%								
Calcário	38,0 a	38,0 a	33,7 a	60,7 a	44,7 b	44,2 b	81,5 a	85,7 a	76,5 a
Escória	36,5 a	30,0 b	33,7 a	61,0 a	60,5 a	55,0 a	81,7 a	81,7 a	78,2 a
	Cu (mg dm^{-3})								
Calcário	3,7 a	2,5 a	2,6 a	2,1 a	2,1 a	1,9 a	1,8 a	2,0 a	2,0 a
Escória	2,4 b	2,0 a	1,9 b	2,2 a	1,7 a	2,1 a	1,7 a	1,8 a	1,6 a
	Fe (mg dm^{-3})								
Calcário	56,7 a	55,7 a	64,5 a	32,7 a	35,0 a	31,5 a	12,2 b	11,0 b	12,2 b
Escória	43,2 b	28,7 b	47,7 b	24,5 b	36,7 a	32,0 a	19,5 a	16,5 a	16,0 a
	Mn (mg dm^{-3})								
Calcário	4,8 b	4,0 a	4,1 b	5,4 b	3,7 b	3,8 b	4,5 b	4,2 b	5,0 b
Escória	7,3 a	2,3 b	5,7 a	7,3 a	10,5 a	9,7 a	12,4 a	10,8 a	11,3 a
	Zn (mg dm^{-3})								
Calcário	0,2 a	0,1 a	0,1 b	0,1 b	0,1 b	0,1 b	0,1 b	0,1 b	0,1 b
Escória	0,2 a	0,1 a	0,2 a	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,5 a	0,5 a	0,3 a

a,b – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

Tabela 23. Médias de pH CaCl₂, H+Al, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases no solo, cobre, ferro, manganês e zinco das doses dos materiais corretivos, dentro de cada combinação de fontes corretivas e de nitrogênio

Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	N (mg dm ⁻³)					
	80	160	320	80	160	320
	pH CaCl ₂					
1,3	4,8 c	4,8 c	4,7 c	4,9 c	4,5 c	4,7 c
2,6	5,4 b	5,2 b	5,2 b	5,3 b	5,3 b	5,2 b
5,2	6,2 a	6,5 a	6,0 a	6,2 a	6,3 a	6,2 a
	H+Al (mmol _c dm ⁻³)					
1,3	27 a	29 a	30 a	27 a	33 a	28 a
2,6	19 b	24 b	23 b	20 b	20 b	22 b
5,2	12 c	11 c	14 c	12 c	12 c	14 c
	Cálcio (mmol _c dm ⁻³)					
1,3	12,5 c	14,3	12,8 b	12,3 c	9,5 c	14,0 c
2,6	22,3 b	16,5	15,8 b	25,3 b	24,0 b	20,3 b
5,2	37,3 a	15,8	31,0 a	42,5 a	37,5 a	34,0 a
	Magnésio (mmol _c dm ⁻³)					
1,3	3,0 c	2,5 c	2,0 b	2,0 c	1,5 c	2,5 c
2,6	6,3 b	3,5 b	2,8 b	6,5 b	6,0 b	4,0 b
5,2	14,3 a	17,8 a	16,0 a	12,5 a	11,3 a	9,3 a
	SB					
1,3	16,3 c	17,7 b	15,5 b	15,1 c	11,9 c	16,5 c
2,6	29,5 b	21,0 b	19,2 b	31,4 b	30,8 b	24,9 b
5,2	53,1 a	64,7 a	47,5 a	53,3 a	51,7 a	44,0 a
	T					
1,3	42,8 b	46,5 b	45,7 b	41,6 c	43,9 c	44,5 b
2,6	48,5 b	45,0 b	43,0 b	51,4 b	50,8 b	46,6 b
5,2	68,0 a	75,5 a	58,8 a	66,8 a	63,2 a	58,4 a
	V%					
1,3	38 c	38 c	34 c	37 c	30 c	34 c
2,6	61 b	45 b	44 b	61 b	61 b	55 b
5,2	82 a	86 a	77 a	82 a	82 a	78 a
	Cu (mg dm ⁻³)					
1,3	3,7 a	2,5 a	2,7 a	2,4 a	2,1 a	1,9 a
2,6	2,1 b	2,2 a	1,9 b	2,2 a	1,7 a	2,1 a
5,2	1,8 b	2,0 a	2,1 b	1,7 b	1,8 a	1,6 a
	Fe (mg dm ⁻³)					
1,3	56,8 a	55,8 a	64,5 a	43,3 a	28,8 b	47,8 a
2,6	32,8 b	35,0 b	31,5 b	24,5 b	36,8 a	32,0 b
5,2	12,3 c	11,0 c	12,3 c	19,5 c	16,5 c	16,0 c
	Mn (mg dm ⁻³)					
1,3	4,8 a	4,0 a	4,1 a	7,3 b	2,3 b	5,7 c
2,6	5,4 a	3,7 a	3,8 a	7,3 b	10,5 a	9,7 b
5,2	4,6 a	4,3 a	5,0 a	12,4 a	10,9 a	11,3 a
	Zn (mg dm ⁻³)					
1,3	0,2 a	0,1 a	0,1 a	0,2 c	0,1 c	0,2 b
2,6	0,2 a	0,1 a	0,1 a	0,3 b	0,3 b	0,3 a
5,2	0,1 a	0,1 a	0,1 a	0,5 a	0,6 a	0,3 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Tabela 24. Médias de pH CaCl₂, H+Al, cálcio, magnésio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, cobre, ferro, manganês e zinco das doses de nitrogênio, dentro de cada combinação de fontes corretivas e doses dos materiais corretivos

N (mg dm ⁻³)	Fontes					
	Calcário			Escória		
	Doses ECaCO ₃ (g dm ⁻³)					
	1,3	2,6	5,2	1,3	2,6	5,2
pH CaCl ₂						
80	4,8 a	5,4 a	6,2 b	4,9 a	5,3 a	6,2 a
160	4,8 a	5,2 a	6,5 a	4,5 c	5,3 a	6,3 a
320	4,7a	5,2 a	6,0 c	4,7 b	5,2 a	6,2 a
H+Al (mmol _c dm ⁻³)						
80	26,5 b	19,0 b	12,0	26,5 b	20,0 a	11,8 a
160	28,8 a	23,8 a	10,8	32,5 a	20,0 a	11,5 a
320	30,3 a	23,0 a	14,0	28,0 b	21,8 a	14,0 a
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)						
80	12,5 a	22,3 a	37,3 a	12,3 a	25,3 a	42,5 a
160	14,3 a	16,5 b	15,8 c	9,5 b	24,0 a	37,5 b
320	12,8 a	15,8 b	31,0 b	14,0 a	20,3 a	34,0 c
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)						
80	3,0 a	6,3 a	14,3 c	2,0 c	6,5 a	12,5 a
160	2,5 a	3,5 b	17,8 a	6,5 b	6,0 a	11,3 b
320	2,0 a	2,8 b	16,0 b	12,5 a	4,0 b	9,3 c
SB						
80	16,6 a	29,5 a	53,1 b	15,1 a	31,4 a	53,3 a
160	17,3 a	21,0 b	64,7 a	11,9 a	30,8 a	51,7 a
320	15,5 a	19,2 b	47,5 c	16,5 a	24,9 a	44,0 b
T						
80	42,8 a	48,5 a	68,0 b	41,6 a	51,4 a	66,8 a
160	46,5 a	45,0 a	75,5 a	43,9 a	50,8 a	63,2 a
320	45,7a	43,0 a	58,8 c	44,5 a	46,6 a	58,4 a
V%						
80	38 a	61 a	82 a	37 a	61 a	82 a
160	38 a	45 b	86 a	30 a	61 a	82 a
320	34 a	44 b	77 b	34 a	55 a	78 a
Cu (mg dm ⁻³)						
80	3,7 a	2,1 a	1,8 a	2,4 a	2,2 a	1,7 a
160	2,5 c	2,2 a	2,0 a	2,1 a	1,7 a	1,8 a
320	2,7 b	1,9 a	2,1 a	1,9 a	2,1 a	1,6 a
Fe (mg dm ⁻³)						
80	56,8 b	32,8 a	12,3 a	43,3 a	24,5 b	19,5 a
160	55,8 b	35,0 a	11,0 a	28,8 b	36,8 a	16,5 a
320	64,5 a	31,5 a	12,3 a	47,8 a	32,0 a	16,0 a
Mn (mg dm ⁻³)						
80	4,8a	5,4 a	4,6 a	7,3 a	7,3 b	12,4 a
160	4,0 a	3,7 a	4,3 a	2,3 a	10,5 a	10,9 b
320	4,1 a	3,8 a	5,0 a	5,7 a	9,7 a	11,3 b
Zn (mg dm ⁻³)						
80	0,2 a	0,2 a	0,1 a	0,2 a	0,3 a	0,5 a
160	0,1 a	0,1 a	0,1 a	0,1 a	0,3 a	0,3 a
320	0,1 a	0,1 a	0,1 a	0,5 a	0,6 a	0,3 a

a,b,c – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Neste estudo investigou-se o efeito dos materiais corretivos na atividade microbiana (Tabela 25). O método da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) se revelou capaz de diferenciar os tratamentos quanto à atividade microbiana, após o cultivo e produção do arroz.

Foi possível analisar também que os tratamentos que receberam escória tiveram maior atividade microbiológica (Tabela 25). Isto, provavelmente, se deve à presença de micronutrientes e metais pesados que não influenciaram negativamente nesta avaliação. Solos contaminados por metais pesados e com maior teor de matéria orgânica tendem a apresentar maiores valores de biomassa, provavelmente em virtude da maior complexação dos metais, formando complexos de baixa solubilidade, reduzindo ou eliminando seu efeito na microbiota (DIAS-JÚNIOR et al., 1998).

Tabela 25. Hidrólise de FDA, atividade das enzimas celulase, protease, arilsulfatase e fosfatase ácida após a aplicação de calcário e silicato em duas doses.

Tipo de corretivo	Tratamentos		Avaliações				
	Dose do corretivo	Dose de nitrogênio	FDA	Celulase	Protease	Arilsulfatase	Fosfatase Ácida
	g por vaso	mg dm ⁻³	µg de fluoresceína /g solo seco/hora	µg g ⁻¹ dia ⁻¹	µg de tirosina/hora /kg TFSE	µg p-nitrofenol/g solo seco/hora	
Calcário	3,4	80	4,11 b	4,95 b	26,49 d	3,60 bc	36,51 bc
	13,7	320	4,55 b	4,56 b	32,46 bc	3,18 c	53,78 ab
Escória	4,8	80	5,22 ab	6,50 a	38,15 b	5,15 a	36,51 bc
	19,0	320	6,36 a	1,70 c	48,50 a	4,52 ab	64,70 a
Testemunha	-	-	0,90 c	4,47 b	26,96 cd	3,34 bc	22,78 c
dms			1,42	0,99	5,81	1,30	19,65
CV(%)			14,9	9,9	7,4	14,5	20,3

a,b,c,d – em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (P>0,05)

Entretanto, a baixa atividade microbiológica obtida no solo com tratamento testemunha, quando comparado com os outros tratamentos, provavelmente se deve as

condições de acidez do solo. SIQUEIRA et al. (1994) esclarecem que, em solos ácidos, a disponibilidade de nutrientes fica inadequada para o desenvolvimento das plantas e, assim, a atividade microbiológica decresce. Outra justificativa seria que a atividade metabólica dos microrganismos é fortemente influenciada pela presença de raízes e materiais orgânicos em decomposição. Entretanto, como no tratamento testemunha não houve a aplicação de corretivos, a acidez do solo inibiu o desenvolvimento das raízes e diminuindo a atividade microbiana devido à menor presença de exsudados e secreções radiculares que representam as maiores fontes de carbono prontamente disponíveis para os microrganismos.

A aplicação de 4,8 g de escória por vaso combinado com 80 mg dm⁻³ de N proporcionou atividade elevada de celulase (Tabela 25). No entanto, observou-se uma redução da atividade desta enzima no tratamento que recebeu a maior dose de escória e de nitrogênio, apresentando o valor de 1,7 µg g⁻¹dia⁻¹. A aplicação das duas doses de calcário resultou em comportamento semelhante.

O tratamento testemunha assemelhou-se ao tratamento com calcário e foi superior com o tratamento com a escória, quando houve a aplicação da maior dose deste material, para a avaliação da atividade da celulase (Tabela 25). Provavelmente, no tratamento com a maior dose de escória, os microrganismos responsáveis em degradar a matéria orgânica, foram inibidos pela reação da escória no solo. No entanto, MELLONI et al. (2001) verificaram que a aplicação do pó de forno de aciaria elétrica não resultou em efeitos negativos na microbiota do solo em função da presença de metais pesados. Os autores acrescentaram que este material pode ser considerado como fonte de Zn para a cultura da soja.

No entanto, poucos estudos foram feitos em relação ao comportamento da enzima celulase no solo. BALOTA et al. (2004) salientam a importância de se estudar mais detalhadamente esta enzima por ter um papel importante na decomposição de resíduos que vão fornecer carbono prontamente disponível para o crescimento de microrganismos.

A maior presença da enzima protease ocorreu no tratamento que recebeu as maiores doses de escória e de nitrogênio (Tabela 25). Segundo BADALUCCO et al. (1997), os solos com teores mais elevados de matéria orgânica e de exsudatos

radiculares podem favorecer a atividade microbiana e, conseqüentemente, aumentar a atividade de proteases, como pode ter ocorrido no tratamento que recebeu maiores doses de escória e de nitrogênio. Observou-se ainda que a aplicação do calcário com a menor dose de N obteve, juntamente com o tratamento testemunha, a menor atividade da enzima protease.

Provavelmente, a maior presença da enzima protease no tratamento 19 g de escória por vaso combinado com 320 mg dm^{-3} de N estabelece indícios de que houve uma maior mineralização do N no solo e, possivelmente, houve maior liberação de N para as plantas (Tabela 25).

SILVA & MELO (2004) ao estudarem a atividade de proteases e a disponibilidade de nitrogênio para laranjeira cultivada em Latossolo Vermelho distrófico concluíram que a atividade das proteases poderá vir a ser um dos métodos para a programação da fertilização nitrogenada para a cultura do citros, uma vez que se correlaciona com o N-foliar usado para fins de diagnose. Assim, com estudos mais detalhados, o mesmo também poderá ser feito para a cultura do arroz.

Neste mesmo raciocínio, após serem feitos estudos de calibração, este método torna-se uma alternativa para os programas de adubação em outras culturas, como é o caso do arroz.

A atividade da arilsulfatase foi influenciada pela aplicação das duas doses da escória e de nitrogênio (Tabela 25). Provavelmente, nestes tratamentos, ocorreu a maior presença de S na forma orgânica, pois apenas esta forma influencia a atividade da enzima arilsulfatase (TABATABAI & BREMNER, 1972). A presença de S como impureza da escória de siderurgia deve ter contribuído para este resultado, pois houve maior absorção de S pela planta, e assim, a decomposição das folhas e raízes do arroz ao longo do ciclo da cultura favoreceu a reciclagem deste nutriente. PEREIRA et al. (2006), ao avaliarem a composição de três escórias siderúrgicas encontraram a presença de enxofre em sua composição.

Os tratamentos que receberam calcário e a testemunha absoluta tiveram a enzima arilsulfatase com comportamento semelhante no solo (Tabela 25). Entretanto, para o tratamento com escória o comportamento dessa enzima foi inferior ao observado.

Pelos resultados obtidos na Tabela 25, observa-se que a atividade da fosfatase ácida foi maior no tratamento com escória combinada com a maior dose de N. Porém, a aplicação da menor dose de calcário e de escória teve comportamento semelhante à testemunha.

Em resumo, os materiais corretivos, ao reagirem no solo, elevam o pH e diminuem a disponibilidade de alguns micronutrientes que poderiam, de alguma forma, contribuir com a atividade microbiana dos solos. Sendo assim, apesar da presença de metais pesados nas escórias, os micronutrientes favoreceram, de maneira geral, a atividade microbiana do solo do experimento em questão e provavelmente houve maior disponibilidade de nutrientes como S, P e N.

V. CONCLUSÕES

1. A neutralização da acidez do solo pela escória de aciaria foi semelhante ao do calcário e, ainda, aumentou a disponibilidade de silício no solo.
2. As doses de nitrogênio diminuíram o teor de Si n a parte aérea (colmo+folhas) do arroz.
3. A adubação nitrogenada aumentou a absorção de nitrogênio, favoreceu o acúmulo de silício e nitrogênio na planta e promoveu maior produção de massa seca da parte aérea e de grãos de arroz.
4. A escória de aciaria aumentou a atividade das enzimas celulase, protease, arilsulfatase e fosfatase ácida no solo.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A. **Pó de forno de siderurgia como fonte de micronutrientes e seu efeito no solo e na planta.** 1996. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

ADAM, G.; DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 7, p. 943-951, 2001.

AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance of water deficit and heat stress in rice plants (*Oriza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**, Fukuoka, v.1, n. 2, p. 96-103, 1998.

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 1999. p. 161-171.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES, V. V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Protease activities. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry.** New York: Academic Press, 1995. p. 313-315.

ALENCAR, F. C. N.; COSTA, J. L. S. Impacto da fungigação na biomassa e atividade

microbiológica dos solos. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 25, supl., p. 359, 2000.

ALVAREZ, A. C. C. **Produção do arroz em função da adubação com silício e nitrogênio no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B.; SNYDER, G. H. Response of a rice-surgarcane rotation to calcium silicate slag on everglades histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 3, p. 531-535, 1987.

ANGLADETTE, A. **El arroz**. Barcelona: Blume, 1969. 867 p.

ARF, O. **Efeitos de densidades populacionais e adubação nitrogenada sobre o comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão**. 1993. 63 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 1993.

AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JR., F. J.; MAGALHÃES JR., A. M. Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 23-44.

BADALUCCO, L.; KUIKMAN, P. J.; NANNIPIERI, P. Protease and deaminase activities in wheat rhizosphere and their relation to bacterial and protozoan populations. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 23, n. 2, p. 99-104, 1997.

BALDEON, J. R. M. **Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano em solos ácidos**. 1995. 85 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J.; SMEDLEY, M. D. Enzyme activities in hill land soils of the Appalachian region. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 4, p. 367-384, 1988.

BALIZA, D. P.; ARAUJO, J. L.; FAQUIN, V.; ÁVILA, F. W. Efeito da interação silício-nitrogênio sobre o crescimento do arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Resumos...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, p. 300-306, 2004.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado**. Piracicaba: Potafos, 1987. 129 p. (Boletim Técnico, 9).

BARBOSA FILHO, M. P. Adubação do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n. 1, p. 32-38, 1991.

BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, O. F. da. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 323-331, 2004.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v.25, n. 2, p. 325-330, 2001.

BARDGETT, R. D.; SAGGAR, S. Effects of heavy metal contamination on the short-term decomposition of labeled ¹⁴C glucose in a pasture soil. **Soil Biology & Biochemistry**,

Oxford, v. 26, n. 6, p. 727-733, 1994.

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).

BELANGER, R. Understanding the benefits of silicon feeding in plants through transcriptomic analyses. In: SILICON AGRICULTURE CONFERENCE, 2008, South Africa. Disponível em: <<http://www.siliconconference.org.za/abstract/Congress08Prog.php>>. Acesso em: 24 out. 2008.

BERNAL, J. Response of rice and sugarcane to magnesium silicate in different soils of Colombia, South America. SILICON AGRICULTURE CONFERENCE, 2008, South Africa. Disponível em: <<http://www.siliconconference.org.za/abstract/Congress08Prog.php>>. Acesso em: 24 out. 2008.

BERNI, R. F.; PRABHU, A. S. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 195-201, 2003.

BIEL, K.; MATICHENKOV, V.; FOMINA, I. Role of silicon in plant defensive system. In: SILICON AGRICULTURE CONFERENCE, 2008, South Africa. Disponível em: <<http://www.siliconconference.org.za/abstract/Congress08Prog.php>>. Acesso em: 24 out. 2008.

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

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 4, p. 269-279, 1995.

BURNS, R. G. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 14, n. 5, p.423-427, 1982.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J. G. de; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de; MEIRA, F. A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, 2006.

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silício aplicados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 637-647, 2007.

CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).

CAMPUS FILHO, M. P. Processos siderúrgicos. In: _____. **Introdução à metalurgia extrativa e siderurgia**. Campinas: Fundação de Desenvolvimento da Unicamp, 1981. p. 122-153.

CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz de sequeiro. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p. 46-49.

CARVALHO, J. C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como**

fonte de silício. 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

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.

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, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURJ, N.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JR., A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 69-74, 2000.

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.

CATANI, V. L.; SOUZA, L. F. Aplicações e mercado de rejeitos siderúrgicos da Companhia siderúrgica nacional. In: SEMINÁRIO DE RECUPERAÇÃO DE REJEITOS DA ÍNDÚSTRIA METALÚRGICA, 1., 1989, Volta Redonda. **Anais...** Volta Redonda: CORENE-ABM, 1989. p. 131-144.

CHEN, W.; HOITINK, H. A. J. ; MADDEN, L. V. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, n. 11, p. 1447-1450, 1988.

CHUNDEROVA, A. I.; ZUBETA, T. Phosphatase activity in dernopodzolic soils. **Pochvovendenie**, Moscow, v. 11, p. 47-53, 1969.

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

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra**, 2004. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

COSTA, J. L. S. **Inducing suppressiveness to Phytophthora root of avocado by using biochanced mulches**. 1995. 154 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - University of California, Califórnia, 1995.

COSTA, L. M.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F. Application of a steel industry residue to an Oxisol including microbial activity. In: CONFERENCE TRACE SUBSTANCES IN ENVIRONMENTAL HEALTH, 25., 1991, New York. **Proceedings...** p. 245-356.

COSTA, J. L. S.; MENGE, J. A.; CASALE, W. L. Biological control of Phytophthora root of avocado with microorganism grown in organic mulches. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 239-246, 2000.

COSTA, J. L. S. et al. Investigation on some of the mechanisms by which bioenhanced mulches can suppress Phytophthora root rot of avocado. **Microbiological Research**, Jena, v. 151, p. 183-192, 1996.

CRUSCIOL, C. A. C.; MACHADO, J. R.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Matéria seca e absorção de nutrientes em função do espaçamento e da densidade de semeadura e, arroz de terras altas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 63-70, 1999.

DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P. B.; FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal Botany**, California, v. 70, n. 7, p. 1079-1084, 1983.

DEREN, C. Plant genotype, silicon concentration, and silicon relates responses. In:

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 1-16.

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

DIAS-JÚNIOR, H. E.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; SILVA, R. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 631-640, 1998.

DICK, R. P. Soil enzymes activities as integrative indicator of soil health. In: PANKHURST C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Org.). **Biological indicators of soil health**. New York: CAB, 1997. p. 121-155.

DICK, R. P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special Publication, 35).

DINIZ, J. A.; BRANDÃO, S. S.; GIÚDICE, R. M.; SEDIYAMA, C. S.; LOUREIRO, B. T. Comportamento de variedades de arroz em terras altas, sob regime de irrigação por aspersão em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Experientiae**, Viçosa, v. 22, p. 235-262, 1976.

ELAWARD, S. H.; GREEN V. E. Silicon on the rice environment: a review of recent research. **Revista il Riso**, Milão, v. 28, p. 235–253, 1979.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400 p.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H.; KORNDÖFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 1-16.

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

FAGERIA, N. K.; SOUZA, N. P. de. Respostas das culturas de arroz e feijão em sucessão à adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 359-368, 1995.

FAGERIA, N. K. Avaliação de genótipos de arroz na eficiência de uso de zinco. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 623-626, 2001.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção da acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, 2000.

FAGERIA, N. K. Resposta de cultivares de arroz à aplicação de calcário em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 883-889, 1984.

FAGERIA, N. K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 1-9, 1982.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Deficiências nutricionais na cultura de arroz**: identificação e correção. Brasília : Embrapa-SPI, 1994. 36 p. (Documentos, 42).

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**,

New York, v. 29, n. 17-18, p. 2675-2682, 1998.

FALLAH, A. Study of the effect of silicon on lodging parameters in rice plants under hydroponics culture in a greenhouse experiment. In: SILICON AGRICULTURE CONFERENCE, 2008, South Africa. Disponível em: <<http://www.siliconconference.org.za/abstract/Congress08Prog.php>>. Acesso em: 24 out. 2008.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**: database, 2004. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: 20 dez. 2006.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FIRME, D. J. **Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia como fosfato natural**. 1986. 55 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

FLIEBACH, A.; MARTENS, R.; REBER, H. H. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 26, n. 9, p. 1201-1205, 1994.

FONSECA, I. M. **Efeito da escória de siderurgia como fonte de silício e a sua interação coma adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha***. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Efeitos do N, P, K, S e Zn no desenvolvimento, produção e composição mineral do arroz (*Oryza sativa* L.) cv. IAC 47 e IAC 435.** 1982. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

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, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para produção de gramíneas forrageiras.** 2006. 137 f. 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. 66 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

FOY, C. D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, New York, v. 19, n. 1, p. 97–149, 1992.

GANESHAMURTHY, A. N.; NIELSEN, N. E. Arylsulphatase and the biochemical mineralization of soil organic sulphur. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 22, n. 8, p. 1163-1165, 1990.

GEMTCHÚJNICOV, I. D. **Manual de taxonomia vegetal:** plantas de interesse econômico agrícola, ornamentais e medicinais. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 368p.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Arroz de Terras Altas em rotação com soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 127-132, 2004.

GUNES, A.; INAL, A.; BAGCI, E. G.; COBAN, S.; SAHIN, O. Silicon increases boron tolerance and reduces oxidative damage of wheat grown in soil with excess boron. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 51, n. 3, p. 571-574, 2007.

HUSAIN, S. M.; SHARMA, U. C. Response of rice to nitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 61, p. 662-664, 1991.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. IAC. **IAC 202**: arroz de sequeiro para o Estado de São Paulo. Campinas, 1998. Folder.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. IBS. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.ibs.org.br>>. Acesso em: 01 set. 2007.

ISLAM A.; SAHA R. C. Effects of silicon on the chemical composition of rice plants. **Plant Soil**, The Hague, v. 30, n. 3, p. 446–457, 1969.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, n. 1, p. 69-78, 2000.

KANAMUGIRE, A.; MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. A comparison of soil extraction methods for predicting the silicon requirement of sugarcane in the South African Sugar Industry. In: SILICON AGRICULTURE CONFERENCE, 2008, South Africa. Disponível em: < <http://www.siliconconference.org.za/abstract/Congress08Prog.php>>. Acesso em: 24 out. 2008.

KATO, N., OWA, N. Evaluation of Si availability in slag fertilizers by an extraction method using a cation exchange resin. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 43, n. 2, p. 351-1359, 1997.

KNIGHT, C. T. G.; KINRADE, S. D. A primer on the aqueous chemistry of silicon. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H **Silicon in agriculture**. (Ed.). p. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 57-84.

KORNDÖRFER, G. H.; BERTHELSEN, S. Measuring soil, plant and fertilizer silicon availability. In: SILICON AGRICULTURE CONFERENCE, 2008, South Africa. Disponível em: < <http://www.siliconconference.org.za/abstract/Congress08Prog.php>>. Acesso em: 24 out. 2008.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/I GPSi-CIAG, 2003. 23 p. (Boletim Técnico; 1).

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE SÍLÍCIO NA AGRICULTURA, 2., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003. 1 CD-ROM.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 1-3, 1995.

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

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES; V. A.; CORRÊA; G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 623, 1999.

KUNZ, J. H.; CARLESSO, R.; DA ROSA, G. M.; GARCIA, C. G., PETRY, M. T.; MELO,

G. L. Adubação nitrogenada do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

LEITA, L.; NOBILE, M. de; MUHLBACHOVA, G.; MONDONI, C.; MARCHIOL, L.; ZERBI, G. Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, n. 2/3, p. 103-108, 1995.

LIANG, Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. **Plant Soil**, The Hague, v. 209, p. 217-224, 1999.

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

LOUZADA, P. T. C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo**. 1987. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. New York: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MAE, T. Partitioning and utilization of nitrogen in rice plants. **JARQ**, Tokyo, v. 20, n. 2, p. 115-120, 1986.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: CERES, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594 p.

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

MARCHEZAN, E.; VILLA, S. C. C.; MARZARI, V.; KORNDÖFER, G. H.; SANTOS, F. M. de. Aplicação de silício irrigado em arroz: efeito nos componentes da produção. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 3, p. 125-131, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MAUAD, M. **Produção de plantas de arroz de sob a ação de silício e nitrogênio**. 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado)– Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

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 soil solution. II The adsorption of monosilicic acid by soil by other substances. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 83-95, 1963.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de dois cultivares de arroz à adubação nitrogenada e tratamento foliar com fungicidas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 91-95, 2005.

MELLONI, R.; SILVA, F. A. M.; MOREIRA, F. M. S.; FURTINI NETO, A. E. Pó de forno

de aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1547-1554, 2001.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para o estabelecimento do Capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. 2005. 123 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MENGEL, K.; GEURTZEN, G. Iron chlorosis on calcareous soils: Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 9, p. 161-173, 1986.

MICHELON, J. C.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; FIORIN, T. T.; DE BONA, F. D.; MELO, G. L.; KUNZ, J. H. Influência da adubação nitrogenada no rendimento e componentes do rendimento do arroz de sequeiro irrigado por aspersão no RS. In: FERTBIO 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

NANNIPIERI, P. Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. **Current perspectives in microbial ecology**. Washington: American Society for Microbiology, 1984. p. 515-521.

NEVES, M. B., BUZETTI, S., ARF, O., SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em dois cultivares de arroz com irrigação suplementar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 429-435, 2004.

NOGUEIRA, A. V. **Eficiência agrônômica como fertilizante de um lodo de esgoto e de dois resíduos provenientes de indústria siderúrgica**. 1990. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

NOLLA, A.; KONDÖRFER, G. H.; ARRUDA, D. G. Controle de *Peronospora Manshurica* na soja cultivada sob diferentes níveis de silicato de cálcio e calcário. In:

SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004, Uberlândia. **Anais...** 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A. C.; HAHNE, H.; BARROS, N. F.; MORAIS, E. J. **Uso de escória de alto forno como fontes de nutrientes na adubação florestal.** In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. p. 77-96.

OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 685-690, 2007.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry.** San Diego: Academic Press, 1989. 273 p.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais em plantas: II. Caracterização da toxidez do níquel em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 323-328, 1982.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. **Manejo da acidez do solo.** Londrina: IAPAR, 1997. 86 p. (Circular, 95).

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

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

PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. de. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.

PEREIRA, H. S.; QUEIROZ, A. A.; MARTINS, M. R.; CAMARGO, M. S. de.; KORNDÖRFER, G. H. Potencial de uso de agregados siderúrgicos e outras fontes de silício em quatro materiais de solo fase cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 17-31, 2007b.

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

PEREIRA, V.A.; PAYE, H. S.; PEDRO, F. A.; REIS, E. F. dos; CATEN, A.; PASSOS, R. R. Influência da aplicação de escórias da siderurgia e calcário sobre as condições químicas de um Latossolo em diferentes tempos de incubação. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 6., 2006, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

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.

POMBO, L. C. A.; KLAMT, E. Adsorção de zinco e cobre de dois solos do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 191-194, 1986.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; CINTRA, A. C. O.; NATALE, W.; SILVA, M. A. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.2, p. 536-542, 2002b.

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

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.; 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.; 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. 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.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Medicina Veterinária, Agronomia e Zootecnia, 2001. 67 p.

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. 67p.

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

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, 2001.

PRADO, R. M. ; NATALE, W.; FERNANDES, F. M. ; CORREA, M. C. Reatividade de uma escória de siderurgia em um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 197-205, 2004.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, n. 4, p.1651-1659, 2008.

RAIJ, B. van; CAMARGO, A. O. Sílica disponível em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, n. 11, p. 223-236, 1973.

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

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A.; FURLAN, A.M.C. (Ed.) **Recomendações para adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas:Instituto Agrônomo, 1996. p.45-49. (Boletim Técnico, 100).

RAINS, D. W.; EPSTEIN, E.; ZASOSKI, R. J.; ASLAM, M. Active silicon uptake by wheat. **Plant and Soil**, The Hague, v. 280, n. 1, p.223-228, 2006.

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

REIS, M. A. dos; ARF, O.; SILVA, M. G. da; SÁ, M. E de; BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 37-43, 2008.

RODRIGUES F. Á.; CORRÊA, G. F.; KORNDÖRFER, G. H.; SANTOS, M. A.; DATNOFF, L. E. Efeito do silicato de cálcio e da autoclavagem na supressividade e na condutividade de dois solos à *Rhizoctonia solani*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1367-1371, 1999.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon and rice disease management. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 457-469, 2005.

RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of Silicon and Host Resistance on Sheath Blight Development in Rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 85, n. 8, p. 827, 2001.

RUEGGER, M. J. S.; TAUKE-TORNISIELO, S. M. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 205-211, 2004.

SANTOS, G. R.; FONSECA, D. P.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S.; PEREIRA, A. C.; UITDEWILLIGEN, G. S. Efeito do silício no controle das principais doenças do arroz irrigado no Estado do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

SANTOS, G. R.; KORNDÖRFER, G. H.; REIS FILHO, J. C. D.; PELÚZIO, J. M. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre a produtividade do arroz irrigado por inundação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 1, p. 287, 2003.

SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant-available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, p. 1245-1252, 1997.

SILVA, E. T.; MELO, W. J. Atividade de proteases e disponibilidade de nitrogênio para laranja cultivada em Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.833-841, 2004.

SILVA, F. A. M. **Fracionamento e biodisponibilidade de metais para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos tratados com pó de forno de aciaria elétrica.** 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SILVA, M. L. S. **Disponibilidade de fósforo em solos com aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez.** 2001. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrônômica de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 1999.

SILVEIRA, A. O. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2007. 94 f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Ed.). **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 142 p. (Documentos, 45).

SKUJINS, J. Enzymes in soil. In: McLAREN, A.D.; PETERSON, G. H. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1967. p. 371-414.

SMITH, R. E. Rapid tube test for detecting fungal cellulose production. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 33, n. 4, p. 980-981, 1977.

SOUZA, C. M. **Uso de escória siderúrgica no cultivo de cana**. Disponível em: <[http://www.jornalcana.com.br/conteúdo/noticia.asp? area=Tecnologia + Agrícola & seção...](http://www.jornalcana.com.br/conteúdo/noticia.asp?area=Tecnologia+Agrícola+seção...)> Acesso em: 21 set. 2001.

SOUZA, E. A de. **Efeitos dos corretivos de solo aplicados em Brachiaria brizantha cv. Marandu na infestação do percevejo castanho nas raízes Atarsocoris brachiariae Becker, 1996 (Hemiptera: Cydnidae) e na composição química e produção de massa seca da planta**. 2008. 59 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SOUZA, R. F. de; FAQUIN, V.; CARVALHO, R.; TORRES, P. R. F.; POZZA, A. A. A. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.1563-1572, 2008.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R., ed. **Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 903-948.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. (Ed.). **Methods soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. part 2, p. 778-835. (Special Publication, 5).

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.34, p.225-229, 1970.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.4, p.479-487, 1972a.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and soil profiles. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, p. 40-44, 1972b.

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. p. 420-433.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. *Science Rice Plant* **2**, Tokyo, p. 58–71, 1995.

TAMAI, K.; MA, J. F. Characterization of silicon uptake by rice roots. **New Phytologist**, Sheffield, v. 158, p. 431-436, 2003.

VALSECCHI, G.; GIGLIOTTI, C.; FARINI, A. Microbial biomass, activity, and organic matter accumulation in soils contaminated with heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 20, n. 4, p. 253-259, 1995.

VAN NGUYEN, N.; FERRERO, A. Meeting the challenges of global rice production. **Paddy Water Environ**, v. 4, p. 1-9, 2006.

VERMAS, T. S.; MINHAS, R. S. Effect of iron and manganese interaction on paddy yield and iron and manganese nutrition in silicon-treated and untreated soil. **Soil Science**, The Hague, v.147, p.107-115, 1989.

VIDAL, A. A. de. **Disponibilidade de silício no solo afetada por diferentes níveis de pH e fósforo**. 2005. 69f. (Dissertação mestrado) – UFU, Uberlândia.

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

WALLACE, A.; ROMNEY, E. A.; MUELLER, R. T. Nitrogen silicon interaction in plants grown in desert soil with nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 529-530, 1976.

WANG, M. Y.; SIDDIQI, M. Y.; RUTH, T. J.; GLASS, A. D. M. Ammonium uptake by rice roots. **Plant Physiology**, Washington, v. 103, p. 1249-1258, 1993.

WANG, Y.; STASS, A.; HORST, W. J. Apoplastic Binding of Aluminum Is Involved in Silicon-Induced Amelioration of Aluminum Toxicity in Maize. **Plant Physiology**, Wahington, v. 136, p. 3762–3770, 2004.

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

WINSLON, M. D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 1208-1213, 1992.

YOKOYAMA, L. P. O arroz no Brasil de 1985/86 a 1999/00: aspectos conjunturais. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1., REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., Florianópolis, 2002. **Anais...** Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 96-99.

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

ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Resistência do arroz à mancha parda mediada por silício e manganês**. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal de Viçosa,

Viçosa, 2007.

ZHU, Z., WEI, G., LI, J., QIAN, Q., YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Limerick, v. 167, p. 527-533, 2004.

ZILLI, É. J. R., GOUVÊA, N. X., RIBEIRO, G. C., COSTA, L. H., NEVES, P. C. M. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Caderno de Ciência & Tecnologia**, v. 20, p. 391-411, 2003.