

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**COMBINAÇÕES DE GESSO, SILICATO E CALCÁRIO APLICADOS
SUPERFICIALMENTE NO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE ARROZ E
FEIJÃO IRRIGADOS POR ASPERSÃO**

ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ ARTIGIANI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Setembro – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**COMBINAÇÕES DE GESSO, SILICATO E CALCÁRIO APLICADOS
SUPERFICIALMENTE NO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE ARROZ E
FEIJÃO IRRIGADOS POR ASPERSÃO**

ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ ARTIGIANI

Engenheira Agrônoma
Mestre em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Co – Orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP
Setembro – 2008

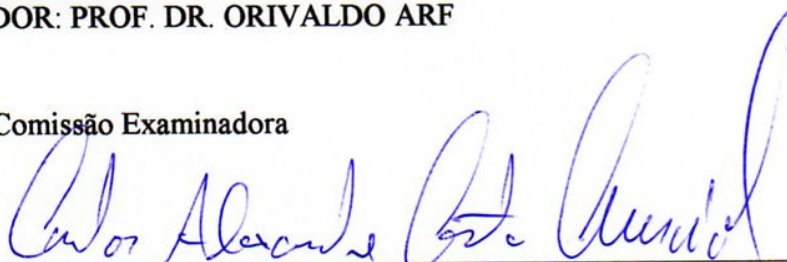
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "COMBINAÇÕES DE GESSO, SILICATO E CÂLCÁRIO APLICADAS
SUPERFICIALMENTE NO SISTEMA PLANTIO DIRETO DE ARROZ
E FEIJÃO IRRIGADOS POR ASPERSÃO"**

ALUNA: ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ORIVALDO ARF

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL



PROF. DR. ROGERIO PERES SORATTO



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. MUNIR MAUAD



PROF. DR. JOSÉ SALVADOR SIMONETI FOLONI

Data da Realização: 29 de setembro 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A791c Artigiani, Angela Cristina Camarim Alvarez, 1978-
Combinções de gesso, silicato e calcário aplicados superficialmente no sistema plantio direto de arroz e feijão irrigados por aspersão / Angela Cristina Camarim Alvarez Artigiani. - Botucatu : [s.n.], 2008.
xi, 128 f. : gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Co-orientador: Orivaldo Arf
Inclui bibliografia

1. Gesso agrícola. 2. Calcário. 3. Plantio direto. 4. Silicatos. 5. Cultivos agrícolas - Aspectos nutricionais. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Arf, Orivaldo. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu) Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

DEDICO

Aos meus pais

João Camarim Alvarez e

Rita Félix Alvarez

A minha irmã

Rita de Cássia Félix Alvarez

Pelas valiosas lições de vida embutidas na simplicidade, honestidade e respeito;

pela compreensão, amor e carinho durante esses anos de minha vida...

...estímulos que me fizeram sempre forte.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela presença constante em minha vida e por sempre direcionar meus passos pelos melhores caminhos.

Aos meus **pais** e **irmã**, por todo carinho, amor incondicional, incentivo e por tudo que fazem e significam para mim.

Ao **Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol** pela paciência, apoio, motivação, confiança e amizade que contribuíram imensamente para meu crescimento pessoal e profissional. Representou muito mais que um orientador ao longo desses anos de convivência, se mostrou um exemplo de caráter, honestidade e competência...seus ensinamentos jamais serão esquecidos.

Ao **Prof. Dr. Orivaldo Arf** pelos ensinamentos, amizade, incentivo e especialmente pelo grande empenho pessoal na condução do experimento.

À **COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES)** pela bolsa concedida durante o decorrer do curso.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP) por permitir o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa, pela ajuda e disposição.

À **RECMIX** e **AGRONELLI** pela doação do silicato e gesso agrícola utilizados no trabalho.

À seção de Pós Graduação, nas pessoas de **Marilena, Marlene, Kátia** e **Jaqueline** pela disposição, atenção e auxílio durante o curso.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Setor Agricultura, em especial a **Ilanir Rosane Rosa Bocetto** (Lana), **Vera Lúcia Rossi**, **Valéria Cristina R. Giandoni**, **Ciro Venâncio de Oliveira** e **Maurílio Antunes de Oliveira** pela excelente convivência, alegrias, auxílio e amizade. Ao responsável pelo Laboratório de

Relação Solo-Planta **Dorival Pires de Arruda**, e estagiárias **Natália** e **Arine**, pela amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciência do Solo, pelo apoio nas leituras de extratos de planta e solo.

A todos os funcionários da biblioteca ‘Paulo de Carvalho Mattos’, em especial a **Maria Aparecida M. Alho**, **Denise M. Nogueira de Assis**, **Nilson de Camargo** e **Ermete Nibi Neto** (‘Bigode’).

Ao **Eduardo Lombard Artigiani** pelo companheirismo, dedicação, amizade, palavras de conforto nos momentos difíceis e paciência durante todo o tempo. À minha segunda e “grande família”, meus sogros **Helio** e **Samurai**, aos cunhados **Helinho**, **Cíntia**, **Heliana**, **Cláudio**, **Elita**, **Leandro**, **Éder**, **Angela**, **Alan** e **Aline**, pela torcida e incentivo. Aos sobrinhos **Filipe**, **Gabriel** e **Júlia** pelas alegrias e momentos inesquecíveis.

Aos amigos **Júlio César dos Reis Pereira** e **Flávio Ferreira da Silva Binotti**, pelo verdadeiro espírito de equipe na condução deste trabalho em campo, amizade e ótimos momentos de descontração.

Aos queridos amigos **Liana Tavares**, **Thaís Bís caro**, **Alana Aguiar**, **Paulo Pavinato**, **Luciane**, **Elidiane Santos**, **Tia Eli** e **Eliane** os quais proporcionaram momentos inesquecíveis de amizade e confiança...são pessoas importantes em minha vida, fizeram com que as coisas se tornassem mais simples e fáceis. Amigos que guardo para sempre com muito carinho.

A todos que de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
1 RESUMO.....	12
2 SUMMARY.....	14
3 INTRODUÇÃO.....	16
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
4.1 Sistema plantio direto.....	19
4.2 Correção da acidez do solo no sistema plantio direto.....	20
4.3 Utilização de silicato na correção da acidez do solo.....	25
4.4 Silício na agricultura.....	30
4.4.1 Silício no solo.....	31
4.4.2 Silício na planta.....	34
4.5 Utilização de gesso agrícola no sistema plantio direto.....	39
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
5.1 Localização do experimento e características do local.....	44
5.2 Histórico da área experimental e caracterização do solo.....	45
5.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados.....	46
5.4 Características dos cultivares.....	47
5.5 Instalação e condução do experimento.....	47
5.5.1 Cultivo do arroz (verão 2003/2004 e 2004/2005).....	48
5.5.2 Cultivo do feijão (inverno 2004 e 2005).....	49

	Página
5.6 Avaliações realizadas.....	49
5.6.1 Características químicas do solo.....	49
5.6.2 Diagnose foliar das culturas.....	50
5.6.3 Componentes da produção e produtividade de grãos.....	51
5.7 Análise estatística.....	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
6.1 Caracterização do solo.....	53
6.2 Características da cultura do arroz (verão 2003/2004 e 2004/2005).....	77
6.2.1 Diagnose foliar e teor de silício.....	77
6.2.2 Componentes da produção e produtividade de grãos.....	85
6.3 Características da cultura do feijão (inverno 2004 e 2005).....	90
6.3.1 Diagnose foliar e teor de silício.....	90
6.3.2 Componentes da produção e produtividade de grãos.....	98
7 CONCLUSÕES.....	103
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características químicas do solo da área antes da instalação do experimento.....	46
2	Composição química dos produtos.....	48
3	Valores de pH em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	55
4	Valores de matéria orgânica no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	58
5	Valores de H + Al no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	60
6	Teores de S-SO ₄ ⁻² no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	63
7	Teores de NO ₃ ⁻ no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	65
8	Teores de K trocável no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	68
9	Teores de Ca trocável no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	70

Tabela		Página
10	Teores de Mg trocável no solo em função da aplicação superficial de corretivos da acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	73
11	Valores de saturação por bases no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	75
12	Valores de silício no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).....	76
13	Teores de nitrogênio, fósforo e potássio na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	78
14	Teores de cálcio, magnésio e enxofre na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	80
15	Teor de silício na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	81
16	Teores de zinco e cobre na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	83
17	Teores de ferro e manganês na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	84
18	Número de panículas por m ² , número total de espiguetas por panícula e fertilidade de espiguetas do arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	86

Tabela		Página
19	Massa de 1000 grãos e produtividade de grãos do arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.....	89
20	Teores de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	93
21	Teores de cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	94
22	Teor de silício nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	95
23	Teores de zinco e cobre nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	97
24	Teores de ferro e manganês nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	98
25	População de plantas, número de vagens por planta e número de grãos por vagem obtidos em feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	100
26	Massa de 100 grãos e produtividade de grãos obtidos em feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Precipitação (■), temperaturas máxima (—) e mínima (—) registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2005.....	45

1 RESUMO

A identificação de alternativas que possibilitem a correção da acidez do solo em profundidade no sistema plantio direto, partindo de uma aplicação superficial, sem incorporação, pode viabilizar a permanência e o sucesso desse sistema. Desta forma, o trabalho objetivou avaliar as misturas de silicato, calcário e gesso na correção do perfil do solo, aplicados superficialmente no sistema plantio direto, bem como suas implicações na nutrição, nos componentes da produção e na produtividade do arroz e feijão. O experimento foi conduzido nos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05 na Fazenda de Ensino e Pesquisa pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS, em um Latossolo Vermelho distrófico, cultivado há quatro anos no sistema plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: 1 – Testemunha (sem corretivos e sem gesso agrícola), 2 – Gesso (aplicação apenas de gesso agrícola), 3 – Calcário (aplicação exclusiva de calcário), 4 – Silicato (aplicação exclusiva de silicato), 5 – Mistura composta de Calcário + Silicato (aplicação da mistura de calcário e silicato - CS, metade da dose de cada corretivo), 6 – Mistura composta de Calcário + Gesso (aplicação da mistura da dose total de calcário e da dose total de gesso agrícola - CG), 7 – Mistura composta de Silicato + Gesso (aplicação da mistura da dose total de silicato e da dose total de gesso agrícola - SG) e 8 – Mistura composta de Calcário + Silicato + Gesso (aplicação

da mistura de calcário e silicato, metade da dose de cada corretivo e da dose total de gesso agrícola - CSG). A aplicação superficial de silicato no sistema plantio direto não foi superior ao calcário na neutralização da acidez do solo em profundidade, apresentando a mesma eficiência. Não houve diferença entre a aplicação superficial de corretivos, tanto isolada como em mistura, nas características químicas do solo. A utilização da mistura de gesso agrícola aos corretivos aplicados superficialmente em plantio direto elevaram os teores de K, Ca, Mg, NO_3^- e S-SO_4^{2-} em profundidade, contribuindo para maior atuação dos corretivos nas características químicas do perfil do solo. As culturas do arroz e do feijão foram influenciadas pela aplicação superficial de corretivos e gesso agrícola em plantio direto, com efeitos positivos sobre a nutrição e componentes da produção refletindo diretamente na produtividade de grãos.

COMBINATIONS OF PHOSPHOGYPSUM, SILICATE AND DOLOMITE LIMESTONE SURFACE APPLICATION IN NO-TILLAGE SYSTEM OF RICE AND BEANS SPRINKLER IRRIGATION. Botucatu, 2008. 128 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANGELA CRISTINA CAMARIM ALVAREZ ARTIGIANI

Adviser: PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Co-advisor: PROF. DR. ORIVALDO ARF

2 SUMMARY

The identification of alternatives that would allow for the soil acidity correction of in depth in no-tillage system based on a surface without addition, you can stay and make a success of this system. Thus, the study aimed to evaluate the mixed silicate with dolomite limestone, and phosphogypsum in the depth soil amendment when surface applied in no-tillage system, and the implications for nutrition, the components of production and productivity of rice and beans sprinkler irrigation. The experiment was carried out during the agricultural years 2003/04 and 2004/05 in an experimental area located in Selvíria – MS in a dystrophic Red Latossol, there are cultivated four years in no-tillage system. The experimental design was randomized blocks with eight treatments and four replications. The treatments were: 1 - Control (without agricultural liming materials and without phosphogypsum), 2 - Phosphogypsum (only application of phosphogypsum), 3 – Dolomite limestone (exclusive application), 4 - Silicate (exclusive application), 5 – Mixture composed of dolomite limestone + silicate (application of the mixture of dolomite limestone and silicate - CS, half the rate of each agricultural liming materials), 6 - Mixture composed of dolomite limestone + phosphogypsum (application of the total rate of the dolomite limestone and total rate of phosphogypsum - CG), 7 - Mixture composed of silicate + phosphogypsum (application of the total rate of silicate and the total rate of phosphogypsum - SG) and 8 - Composed of dolomite limestone + silicate + phosphogypsum (application the mixture of dolomite limestone and silicate, half the rate of each agricultural liming materials and the total rate of phosphogypsum - CSG). The application surface of silicate in not-tillage system was not higher to dolomite

limestone in neutralize the acidity of soil in depth, showing the same efficiency. There was no difference between the application of agricultural liming materials surface, both alone and in combination, the chemical characteristics of the soil. The use of the mixture of phosphogypsum to apply agricultural liming materials superficially in no-tillage system increased the levels of K, Ca, Mg, NO_3^- and S-SO_4^{2-} in depth, contributing to greater agricultural liming materials action on the chemical characteristics of the soil. The crops of rice and beans were influenced by surface application of agricultural liming materials and phosphogypsum in no-tillage system, with positive effects on nutrition and yield components reflecting directly in grain yield.

Keywords: soil acidity, carbonate, silicate, sulphate, mineral nutrition, annual crops

3 INTRODUÇÃO

O conceito do sistema plantio direto vai além da semeadura sem revolvimento do solo, incluindo outros aspectos importantes como a rotação de culturas com alta produção de matéria seca e manejo adequado das características físicas e químicas do solo. O sucesso e a continuidade desse sistema ao longo dos anos são obtidos através de um planejamento de manejo da fertilidade do solo em profundidade no perfil, principalmente com a correção da acidez.

A acidez do solo limita a produção agrícola em diversas áreas do mundo, em decorrência da toxidez causada por alumínio, deficiência de fósforo e pela baixa saturação por bases. No Brasil, o material mais utilizado como corretivo de acidez é o calcário, sendo sua aplicação eficaz para elevar o pH, teores de cálcio e magnésio, saturação por bases e reduzir os teores de alumínio trocáveis no solo (PADILHA et al., 2003; CAIRES et al., 2003).

Na maioria das áreas produtoras de grão em sistema plantio direto, a correção da acidez do solo tem sido realizada mediante aplicação de calcário na superfície, sem incorporação com aração e gradagem ou com incorporação somente por grades. Entretanto, a reação do calcário é geralmente limitada ao local de sua aplicação/incorporação por apresentar baixa mobilidade no solo, o que acarreta questionamentos quanto à viabilidade desta prática.

Os resíduos siderúrgicos são pouco utilizados na agricultura brasileira como insumo agrícola, no entanto, as escórias, subproduto da fabricação do aço apresentam

teores relativamente elevados de CaO e MgO, e dessa forma seu aproveitamento pode assumir papel importante como corretivo de acidez do solo. Além disso, existe a possibilidade de conciliar a produção do aço com a atividade agrícola, reduzindo o passivo ambiental gerado pelo acúmulo de escórias pelas siderúrgicas.

Considerando que os silicatos de cálcio e magnésio, provenientes das escórias, são aproximadamente sete vezes mais solúveis que os carbonatos, a sua aplicação superficial em áreas sob sistema plantio direto pode promover a correção do perfil do solo e/ou aumentar os teores de Ca e Mg em profundidade, num menor tempo em relação à aplicação de calcário, já que apresentam ação neutralizante da acidez do solo semelhante à dos carbonatos.

A substituição de parte do calcário por corretivos alternativos, como os silicatos de Ca e Mg, pode ser uma opção viável, principalmente tratando-se da correção da acidez subsuperficial em áreas sob o sistema plantio direto, onde nestas condições, o desenvolvimento do sistema radicular torna-se limitado às camadas superficiais, explorando assim, pequeno volume de solo e, conseqüentemente, limitando a produtividade das culturas, principalmente, nos locais onde é freqüente a ocorrência de veranicos.

Nesse sentido, o gesso também pode ser utilizado para melhoria do ambiente radicular em profundidade. E devido aos efeitos positivos da sua aplicação superficial, o gesso está sendo utilizado também, em solos ácidos, como um produto complementar ao calcário capaz de reduzir a atividade do alumínio e aumentar a concentração de cálcio trocável em subsuperfície, possibilitando o desenvolvimento das raízes em profundidade, ampliando assim o volume de solo a ser explorado e a tolerância das plantas à seca. O sucesso do uso do gesso como melhorador do ambiente radicular foi de grande abrangência na Região do Cerrado brasileiro, que apresenta em torno de 80% de sua área com algum problema de acidez subsuperficial e alta incidência de veranicos, principalmente, nos meses de janeiro e fevereiro, época crítica para desenvolvimento das culturas de verão (SOUSA e RITCHEY, 1985).

Portanto, a identificação de alternativas que possibilitem a correção da acidez do solo em profundidade no sistema plantio direto, partindo da aplicação superficial, sem incorporação, pode viabilizar a permanência e o sucesso desse sistema, pois atualmente, não há informações que satisfaçam todas as dúvidas pertinentes à dinâmica dos processos

envolvidos no sistema plantio direto. Pouco se conhece sobre o comportamento de corretivos que tenham ação efetiva em todo perfil quando aplicados superficialmente, considerando que após a implantação do sistema plantio direto, fatores contribuem para a acidificação dos solos inviabilizando em muitos casos a permanência do sistema por longos períodos.

Dessa forma, o presente trabalho teve as seguintes hipóteses:

- a) A aplicação de silicato em superfície poderia neutralizar a acidez do solo e fornecer Ca em profundidade, em menor tempo, em relação à aplicação apenas de calcário;
- b) A mistura de corretivos (silicato + calcário) poderia ser eficiente em termos de velocidade de correção do perfil do solo e no aumento dos teores de Ca em profundidade, possibilitando a utilização de parte do corretivo na forma de silicato. Essa técnica reduziria o custo de correção de solo, em regiões agrícolas distantes dos centros produtores de silicatos, uma vez que o valor do frete é um fator limitante para a aplicação exclusiva de silicato;
- c) Devido à alta mobilidade, a mistura do gesso agrícola aos corretivos poderia promover o enriquecimento de bases no perfil do solo em menor tempo em relação à aplicação isolada de corretivos ou mesmo quando misturados.

O objetivo do trabalho foi avaliar as misturas de silicato, calcário e gesso na correção do perfil do solo, aplicados superficialmente no sistema plantio direto, bem como suas implicações na nutrição, nos componentes da produção e na produtividade do arroz e feijão.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Sistema plantio direto

Um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira foi a introdução do sistema plantio direto (SPD) no sul do Brasil, a partir da década de 70 (LOPES et al., 2004), e desde então, a área cultivada sob esse sistema tem aumentado de forma expressiva, tanto que, na safra 2005/06 foram cultivados 25,5 milhões de hectares em todo Brasil, sendo 8 milhões de hectares na região dos cerrados (FEBRAPDP, 2008).

A evolução da área cultivada no SPD tem reflexos positivos em vários setores da atividade agrícola nacional, principalmente no que tange a conservação dos recursos ambientais, como água e solo, sendo considerado por Balbino et al. (1996) como uma das melhores alternativas para a sustentabilidade ambiental da exploração agropecuária.

Este sistema é caracterizado pelo não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura (AMARAL et al., 2004a), e manutenção dos restos culturais sobre a superfície, o que promove maior proteção contra o impacto direto das gotas da chuva, favorece a infiltração, reduz a perda de água por escoamento superficial e perda de solo e nutrientes por erosão (WUTKE et al., 1993; HERNANI et al., 1999).

Sabe-se que a acidez é um dos maiores problemas dos solos tropicais brasileiros, e as recomendações de calagem e manejo da fertilidade no SPD têm sido

realizados a partir dos conhecimentos obtidos no sistema convencional de preparo do solo (SPC). No entanto, segundo Caires et al. (1999), os aspectos relacionados com a fertilidade do solo no SPD nem sempre são os mesmos aplicados no SPC, uma vez que trabalhos têm indicado que a necessidade de calcário talvez seja menor nas áreas manejadas por vários anos no sistema convencional (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; PÖTTKER et al., 1998a, 1998b; CAIRES et al., 2000a; CAIRES e FONSECA, 2000). Porém, as informações sobre o manejo das culturas e a fertilidade do solo ainda não estão bem definidas para o SPD.

Portanto, há a necessidade de estudos que satisfaçam todos os questionamentos relacionados à correção da acidez do perfil do solo, partindo de uma aplicação superficial. Além disso, existe grande interesse na busca de alternativas para a implantação e manutenção do SPD, sem incorporação prévia do corretivo, não havendo necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem desde o estabelecimento (CAIRES et al., 2000b, PETRERE e ANGHINONI, 2001; CAIRES et al., 2003; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e). As vantagens desse procedimento, segundo Caires et al. (2000b, 2003b) e Soratto e Crusciol (2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e), estariam relacionadas à manutenção dos atributos químicos e físicos do solo (agregação e infiltração de água), ao maior controle de erosão e à economia com as operações de incorporação de calcário e preparo de solo.

4.2 Correção da acidez do solo no sistema plantio direto

A acidez é uma característica bastante importante dos solos tropicais brasileiros, que promove diminuição na disponibilidade de nutrientes catiônicos (Ca, Mg, K) e aumento na solubilidade de cátions tóxicos (H, Al) (FRANCHINI et al., 2001a). É considerada como fator limitante à produção agrícola, pois a deficiência de Ca e a toxidez de Al são as principais limitações químicas para o crescimento radicular, cujas conseqüências se manifestam pelo estresse nutricional e hídrico nas plantas (RITCHEY et al., 1980; CAIRES et al., 1998).

A acidificação do solo ocorre de forma natural, é resultado da lixiviação de cátions básicos solúveis (Ca, Mg, K) e/ou remoção pelas colheitas, seguida pela

sua substituição por cátions ácidos (H e Al) no complexo de troca catiônica, processo acelerado pela adição de certos fertilizantes nitrogenados (ZIGLIO et al., 1999).

Os íons H^+ competem com os cátions por sítios de adsorção (HELYAR, 2003) e os íons Al^{3+} (valência +3) são mais fortemente atraídos para as proximidades das partículas com cargas negativas, em detrimento do sódio e potássio (valência +1) e do cálcio e magnésio (valência +2). Com isso, o alumínio permanece mais no solo, enquanto os outros cátions tendem a serem lixiviados (BOHNEN, 2000), ocorrendo uma diminuição nos valores de pH e elevação da saturação por alumínio, responsável pela queda da produtividade máxima das culturas (RAIJ, 1981), comprovado por vários trabalhos (PAVAN et al., 1982; RITCHEY et al., 1982; SUMNER et al., 1986; QUAGGIO, 2000).

Nestas condições, o desenvolvimento do sistema radicular torna-se limitado às camadas superficiais, explorando assim, pequeno volume de solo e, desta forma, limitando a produtividade das culturas, principalmente, nos locais onde é freqüente a ocorrência de veranicos, que é o caso da região dos cerrados. Por isso, torna-se importante o aprofundamento do sistema radicular conferindo às plantas maior tolerância a períodos de baixa precipitação, e possibilita maior absorção de nutrientes, pelo maior volume de solo explorado (ERNANI e BARBER, 1993).

Sabe-se que a calagem é prática comumente utilizada para neutralizar a acidez, restaurar a capacidade produtiva dos solos, aumentar a disponibilidade de nutrientes e diminuir os elementos tóxicos (PAVAN e OLIVEIRA, 2000). Entretanto, no SPD, esta prática assume aspectos diferentes em razão da necessidade de aplicação na superfície do solo sem incorporação (CAIRES et al., 1998, 1999; CAIRES e FONSECA, 2000; PAVAN e OLIVEIRA, 2000; RHEINHEIMER et al., 2000; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e). Isso tem gerado questionamento quanto à sua eficiência, pois os materiais utilizados como corretivos de acidez são pouco solúveis em água, e apresentam baixa mobilidade no solo (CAIRES et al., 1998; PAVAN e OLIVEIRA, 2000). Além disso, faltam informações a respeito da reação em profundidade do calcário aplicado na superfície do solo, em sistema plantio direto, assim como do seu efeito nas características químicas do solo, na nutrição mineral e produção das culturas, conforme relatam Caires et al. (1999, 2000) e Soratto e Crusciol (2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e).

Segundo Quaggio (1986) as transformações que ocorrem nos solos com a aplicação do calcário são: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$. Assim, o Ca^{2+} e o Mg^{2+} deslocam Al^{3+} adsorvido às partículas do solo, ou seja, Ca^{2+} é colocado em solução ocupando posições de troca catiônica com Al^{3+} . A reação dos íons HCO_3^- com os íons H^+ forma H_2CO_3 e devido à sua instabilidade, se dissocia em H_2O e CO_2 . Os íons Al^{3+} se hidrolisam em função do pH do solo e a neutralização do solo é finalmente efetuada, tendo como produtos finais H_2O , $\text{Al}(\text{OH})_3$ e CO_2 .

Algumas pesquisas têm demonstrado efeitos da calagem superficial na subsuperfície do solo no SPD, aumentando o pH, Ca e Mg trocável e reduzindo os teores de Al tóxico (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1996, 1998, 1999, 2000a; RHEINHEIMER et al., 2000; FRANCHINI et al., 2000; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a; 2008b; 2008d). No entanto, a eficiência da calagem, particularmente na correção da acidez do subsolo, é controversa, com resultados demonstrando nenhum movimento além do seu local de aplicação (CAIRES et al., 2000a).

Entre diversos trabalhos realizados, os de Caires et al. (1996), Sá (1996) e Amaral et al. (2004a) confirmaram que o calcário aplicado em superfície corrige a acidez, aumentando significativamente o pH e elevando os teores de Ca e Mg trocáveis do solo até a profundidade de 5 cm e, em menor grau, na camada de 5 a 10 cm de profundidade.

Santos et al. (1995) verificaram que, após três anos de cultivo, em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, não houve diferença de pH entre a aplicação de calcário superficialmente e incorporado a 0,20 m. Foram encontrados maiores teores de Ca + Mg e menores de Al trocável nas camadas de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m no SPD em relação ao SPC.

Além disso, Pöttker e Ben (1998b) também ressaltam que a aplicação de calcário, sem incorporação ao solo no SPD, influenciou principalmente as características químicas da camada de 0-0,05 m e, em menor grau, na de 0,05-0,10 m de profundidade.

Caires et al. (2000) observaram ação da calagem até 0,10 m de profundidade, com aumentos de pH, Ca e Mg trocáveis e saturação por bases, e na redução da acidez potencial (H + Al) aos 12 meses após calagem.

Padilha et al. (2003) observaram efeito da calagem superficial na correção da acidez do solo, após seis meses, somente na profundidade de 0-0,05 m, e na

profundidade de 0,05-0,10 m após 18 meses. A prática promoveu aumento nos teores de Ca e Mg trocável no solo.

Por outro lado, existem indicativos de que a correção da acidez em profundidade no SPD, com aplicação de calcário superficial, ocorre em menor tempo do que o esperado, considerando-se a baixa solubilidade do calcário e a sua não incorporação ao solo (PÖTTKER e BEN, 1998b).

A redução da acidez através da elevação do pH e diminuição do alumínio trocável até 0,40 m de profundidade, após 32 meses da aplicação de calcário na superfície, foram observados por Oliveira e Pavan (1994). De acordo com estes autores, o movimento do calcário em profundidade ocorreu, provavelmente, através de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos devido à ausência de preparo do solo.

Lima e Crusciol (2001) observaram na implantação do SPD, que após cinco meses, a calagem superficial foi eficiente na correção da acidez de superfície e subsuperficial (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm), elevando o pH, os teores de Ca e Mg trocáveis e reduzindo a acidez potencial (H+Al). Da mesma forma, Marcolan e Anghinoni (2003) verificaram que o efeito da aplicação superficial de calcário, em profundidade no SPD consolidado (8 e 12 anos), foi rápido e atingiu 15 cm no perfil do solo em 12 meses.

No trabalho desenvolvido por Soratto e Crusciol (2008a), os autores verificaram, em Latossolo Vermelho distroférrico, aumento nos valores de pH, na camada de 0,20 a 0,40 m, e nos teores de Ca e Mg até 0,60 m após 12 meses da aplicação superficial de calcário na implantação do SPD.

Diversos mecanismos e suas ações conjuntas podem estar envolvidos nos efeitos da calagem superficial na correção da acidez de subsuperfície, no SPD, sendo as diferentes hipóteses citadas a seguir (ANGHINONI, 2007):

- a) formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, sendo importante a presença de ácidos orgânicos (OLIVEIRA e PAVAN, 1996);
- b) deslocamento de partículas finas de calcário nos canais, formados por raízes mortas e insetos, mantidos intactos (PAVAN, 1994; GASSEN e KOCHHANN, 1998) ou porosidade contínua no perfil (AMARAL et al., 2004b);
- c) adição de fertilizantes nitrogenados, com a redução da acidez na rizosfera pela absorção de nitrato e exsudação de OH^- e HCO_3^- pelas raízes (RAIJ et al., 1988); e

d) produção contínua de ácidos orgânicos hidrossolúveis (de baixo peso molecular), que complexam os cátions divalentes (Ca e Mg) na forma neutra (CaL^0 ou MgL^0) ou negativa (CaL^- ou MgL^-). A alteração de carga, mediante a formação de pares iônicos, facilita a mobilidade do complexo até a camada subsuperficial, onde os cátions divalentes são deslocados pelo Al trocável, uma vez que formam complexos mais estáveis com o Al, diminuindo sua toxidez às raízes (PAVAN e ROTH, 1992; MIYAZAWA et al., 2000; SORATTO e CRUSCIOL, 2007).

A menor resposta das culturas à calagem no SPD, pode estar relacionada com o menor efeito tóxico do alumínio, decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis nos restos de plantas (MIYAZAWA et al., 1996), ou com o fato de os teores de Ca, Mg e K apresentarem disponibilidade suficiente no perfil do solo para manter uma relação adequada como o Al (CAIRES et al., 1998).

Alleoni et al. (2003), no Paraná, não observaram efeito da aplicação de calcário em um Latossolo Vermelho, sob plantio direto, na produtividade de milho e soja. Caires et al. (1999) em um Latossolo Vermelho no Paraná, também não constataram efeito da aplicação de calcário em plantio direto, na produção de milho, trigo e soja, em condições de acidez ($\text{pH}=4,5$; $\text{V}\% = 32$ e $\text{m}\% = 18$).

Caires et al. (1998) e Moreira et al. (2001) não verificaram variações no estado nutricional das culturas em resposta à calagem, em diferentes sistemas de cultivo. Assim como, Moraes e Dynia (1998) não constataram efeito da calagem sobre a produção do arroz e do feijoeiro. Assim como Moreira (1999), em estudo sobre a calagem no SPD constatou ausência de efeito do corretivo na produção de grãos de soja.

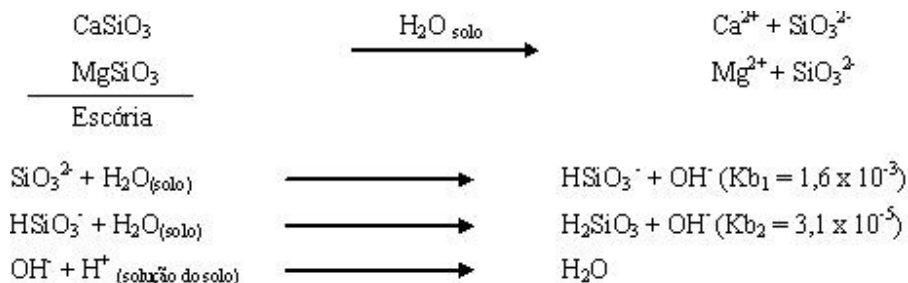
Entretanto, o efeito positivo da calagem no aumento da produção e maior absorção de nutrientes pelo milho foi comprovado por Camargo et al. (1982), Weirich Neto et al. (1997) e Ernani et al. (1998). No trabalho de Ernani et al. (2002) a calagem aumentou a produção de milho nos três anos de cultivo, mas este foi maior no preparo convencional que no plantio direto, em dois dos três anos. Weirich Neto et al. (1997) obtiveram também resultados positivos, testando o efeito da calagem sobre a cultura do milho, e observaram aumento da produção com a incorporação do calcário, sendo significativamente superior à aplicação do calcário na superfície, sem incorporação.

4.3 Utilização de silicato na correção da acidez do solo

Os materiais que podem ser utilizados na correção da acidez do solo são aqueles que apresentam como ‘constituente neutralizante’ ou ‘princípio ativo’, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou magnésio (ALCARDE, 1985). Portanto, além do calcário, outros materiais também podem ser usados como corretivo de acidez.

As escórias siderúrgicas são fontes abundantes de silicatos, originárias do processamento, em altas temperaturas, da reação do calcário com a sílica (SiO_2), presente no minério de ferro (MALAVOLTA, 1981). Desta forma, a alta concentração de silicatos de cálcio e magnésio nas escórias, sugere sua utilização como corretivo de acidez do solo e como fonte de Ca e Mg, além de fornecer silício para as plantas, que é um elemento benéfico para o crescimento e desenvolvimento das plantas do ponto de vista fisiológico e metabólico (KORNDÖRFER et al., 2002a).

Segundo Alcarde (1992), a escória de siderurgia apresenta ação neutralizante através da base SiO_3^{2-} , conforme as seguintes equações:



Essas equações permitem constatar que a ação neutralizante da escória (silicato) é muito semelhante à do calcário, neste caso, a base química é o SiO_3^{2-} , que também apresenta comportamento fraco ($\text{Kb}_1 = 1,6 \times 10^{-3}$), mas é mais forte que a base CO_3^{2-} ($\text{Kb}_1 = 2,2 \times 10^{-4}$) (ALCARDE, 1992).

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo é o calcário, entretanto, a utilização de resíduos siderúrgicos para a mesma finalidade tem se mostrado promissora. E com base nisso, alguns trabalhos têm sido realizados comparando os efeitos do calcário com os das escórias de siderurgias, na correção da acidez do solo (GOMES et al.,

1965; RIBEIRO et al., 1986; BAHIA, 1989; ALCARDE, 1992; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; PRADO e FERNANDES, 2001; PRADO et al., 2002; BRASSIOLI et al., 2003; SILVA, 2003; ALCARDE e RODELA, 2003). De acordo com esses autores, o emprego com sucesso da escória como corretivo está diretamente relacionado ao acréscimo do pH, Ca, Mg e a própria neutralização do Al tóxico.

Assim como no calcário, a reatividade e eficiência de correção da escória variam segundo a granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e o tempo de contato do material com o solo (AMARAL SOBRINHO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1994), segundo Alcarde (1992) o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3 = 0,014 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{CaSiO}_3 = 0,095 \text{ g dm}^{-3}$), e dessa forma, seria uma boa opção para aplicação superficial no SPD.

De acordo com Korndörfer et al. (2002a) os silicatos de Ca e Mg, por apresentarem comportamento e composição semelhantes aos carbonatos, podem substituir os calcários com vantagens. Assim sendo, a recomendação de uso de silicato é baseada em qualquer um dos métodos de recomendação de calagem.

Os benefícios da aplicação de silicatos de Ca e Mg estão, normalmente associados ao aumento na disponibilidade de silício, à elevação do pH e ao aumento do Ca e Mg trocável do solo. Os silicatos podem também atuar nas reduções de toxicidade de Fe, Mn e Al para as plantas, além de aumentar a disponibilidade de fósforo no solo (KORNDÖRFER et al., 2002a).

Tem-se observado diferentes respostas quanto à aplicação de escórias de siderurgia e suas atuações em profundidade no solo, quando aplicadas superficialmente. Assim como, resultados semelhantes e superiores em relação ao efeito do calcário (PRADO e FERNANDES, 2001; BARBOSA et al., 2003; OLIVEIRA, 2004; FONSECA et al., 2007; FOLTRAN e CRUSCIOL, 2007; NOLLA e KORNDÖRFER, 2007).

Em colunas de lixiviação, pesquisas demonstraram que os silicatos de cálcio e magnésio, além do corrigirem o pH do solo nas camadas mais superficiais, apresentaram a característica de percolarem no perfil do solo, diminuindo a acidez em maiores profundidades, sendo superiores ao calcário (RAMOS, 2003; OLIVEIRA, 2004).

Estudo desenvolvido por Barbosa et al. (2003), em colunas de lixiviação (lisímetros), comparou o efeito do silicato e calcário na correção do pH, e o silicato apresentou melhor correção do pH até 25 cm de profundidade, além de ter fornecido silício.

Piau (1991) estudou diferentes escórias (pré-cal; alto-forno e de aciaria) comparadas ao calcário em duas granulometrias (ABNT 50-60 e 100-140), e concluiu que a moagem dos produtos em estudo, de modo a apresentar granulometria para passar em uma peneira ABNT 50-60, é suficiente para a correção da acidez do solo aos 90 dias após a incorporação.

Além disso, Prado e Fernandes (2001) mostraram a similaridade da escória de siderurgia em relação ao calcário, incorporados na camada de 0-20 cm em pré-plantio da cana-de-açúcar, na correção da acidez do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

Fonseca et al. (2007) observaram correções do solo similares proporcionadas pela escória de siderurgia e calcário. Além disso, a aplicação da escória promoveu incremento no teor de Si disponível no solo oito vezes mais que o calcário.

Em outro estudo, Foltran e Crusciol (2007) avaliaram a eficiência da aplicação superficial de calcário e silicato de cálcio e magnésio associados ou não a gesso em soqueira de cana crua. Observaram correção da acidez do solo pelo silicato até a profundidade de 0,40-0,60 m, e aumento nos teores de Ca e Mg trocável no perfil solo. A aplicação de gesso agrícola contribuiu para o incremento no teor de $S-SO_4^{2-}$ e Ca trocável no solo.

Arruda et al. (2007) compararam os efeitos de diferentes doses de calcário e silicato de cálcio e magnésio sobre atributos químicos do solo em cana soca, e observaram elevação dos valores de pH e aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis no perfil do solo.

Crusciol et al. (2007) observaram, com a aplicação de calcário e silicato de cálcio e magnésio, elevação dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases do solo, em relação à análise química inicial do solo, não atingindo os valores esperados de saturação por bases (60%). No tratamento com silicato, os autores também constataram que o teor de P no solo foi mais elevado em relação ao tratamento com calcário.

Carvalho-Pupato et al. (2003) estudando o efeito da escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade do arroz de terras altas, observaram

aumentos do comprimento e superfície radicular em função das melhorias dos atributos químicos do solo, com aumento do pH e dos teores de Ca e Mg.

Pereira (1978), citado por Corrêa (2006), observou não haver diferenças estatísticas entre uma escória da USIMINAS e sete calcários de diferentes características, quanto à correção do pH, em amostras de dois Latossolos. O mesmo comportamento foi observado por Nolla e Korndörfer (2007) que avaliaram a correção da acidez do perfil do solo proporcionada pelo carbonato e silicato de cálcio, e apesar de constatarem, após 12 meses, que os dois corretivos aplicados em superfície corrigiram o pH do solo à medida que aumentou-se a dose, o carbonato foi mais eficiente em elevar o pH do solo em profundidade.

Apesar de todos estes estudos demonstrarem uma alternativa viável para o uso agrícola, as escórias (silicatos de cálcio e/ou magnésio), até o presente momento, são produtos pouco utilizados na agricultura brasileira. Entretanto, são amplamente utilizadas em países como o Japão, China e Estados Unidos (PRADO et al., 2001; PRADO e NATALE, 2004).

No Brasil, para cada tonelada de aço produzido são gerados entre 70 a 170 kg dessas escórias e, por ano são produzidos aproximadamente de 4 milhões de toneladas, das quais 56% (2,24 milhões de toneladas) são estocadas, sem destinação imediata (PRADO et al., 2002), gerando um passivo ambiental de grandes proporções.

Nesse particular, o reaproveitamento desses resíduos torna-se muito importante, pois pode compatibilizar a produção do aço com a atividade agrícola, eliminando, pelo menos em parte, o passivo ambiental gerado pelo acúmulo de escórias nos pátios das siderúrgicas. Associado a isso, deve-se ressaltar a possibilidade de redução da mineração de calcário para fins agrícolas, com conseqüente redução na degradação ambiental, causada pela atividade mineradora. No Brasil, são consumidos atualmente cerca de 20 milhões de toneladas de calcário por ano na agricultura (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2008) e, pelo menos parte desse calcário poderia ser substituída por outros corretivos, como a escória de siderurgia.

De acordo com a legislação brasileira de corretivos (BRASIL, 1986), as escórias de siderurgia devem apresentar algumas características mínimas para serem comercializadas, no que se refere ao poder de neutralização e reatividade. O poder de neutralização (PN) deve ser no mínimo 60%, e a soma dos óxidos de Ca e Mg deve ser

superior a 30%. Para o calcário, a legislação é mais rígida, sendo PN mínimo de 67% e a soma de óxidos de Ca e Mg superior a 38%. Quanto à granulometria, o produto, na forma de pó, deve ser constituído por partículas que deverão passar em 95% na peneira de 2 mm (ABNT n° 10) e 50% na peneira de 0,3 mm (ABNT n° 50).

De modo geral, a capacidade corretiva da acidez do solo das escórias é semelhante à do calcário. Entretanto, esses dois tipos de corretivos diferem quanto à superfície específica (área de contato) e quanto ao poder de neutralização (PN). O poder corretivo das escórias pode ser superior à do calcário, devido à maior superfície específica de suas partículas. Quando se aplica calcário e escória com granulometrias semelhantes (mesma reatividade), no entanto, as escórias são menos eficientes na elevação do pH do solo. Essas pequenas diferenças de eficiência são atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória (PRADO et al., 2001).

Nesse sentido, Dalto (2003) analisou a correção da acidez do solo em profundidade pelo calcário e silicato de Ca e Mg, em condições de campo, e observou que, no primeiro ano, o calcário apresentou maior reatividade em comparação ao silicato, para uma mesma dose aplicada. Isso pode estar relacionado com o menor PRNT (89%) apresentado pelo silicato, e com o tempo de reação (NOVAIS et al., 1993). Essa reação mais lenta do silicato pode ser influenciada pela presença de impurezas (como Al), que reduzem a solubilidade da escória, ou pela formação de uma película alcalina de óxido de Fe e Al ao redor das partículas do corretivo no momento da hidrólise (GOMES, 1996).

Vidal et al. (2007) aos 90 dias, não observaram efeito de doses de escória de alto forno, em diferentes frações granulométricas, na acidez de um solo com textura argilosa. Santos et al. (2007) estudaram o comportamento da wollastonita e do calcário no crescimento e desenvolvimento do arroz, e verificaram efeito na nutrição e produção das plantas.

Madeiros et al. (2007) avaliaram a influência da aplicação de escória siderúrgica na concentração de macronutrientes na cana-de-açúcar, em casa de vegetação. Observaram que houve pequeno aumento nas concentrações foliares de Si, N e Ca, enquanto que, as concentrações foliares de S e P diminuíram.

Em outro estudo, Silva et al. (2007) avaliaram a influência da aplicação superficial de calcário e silicato na nutrição e produtividade do feijoeiro, cultivado

em área com e sem irrigação, sob SPD, e observaram que em condições de déficit hídrico, a aplicação de silicato de cálcio e magnésio minimizou as perdas na produtividade do feijoeiro, apesar de não alterar sua nutrição. E, com o fornecimento adequado de água (área irrigada), ambos os corretivos (calcário e silicato) aumentaram a produtividade do feijoeiro, em comparação à testemunha.

Castro e Crusciol (2007) estudaram o efeito da aplicação superficial de calcário e silicato no SPD, na cultura da soja, e observaram que o silicato foi tão eficiente quanto o calcário na melhoria das características agrônômicas da soja. Houve aumento do teor de Si foliar no tratamento que recebeu silicato, e incrementos na produtividade com aplicação de ambos.

4.4 Silício na agricultura

Desde janeiro de 2004, com o decreto N° 4.954 e aprovação do Ministério da Agricultura, o silício passou a ser considerado um “micronutriente benéfico”. Portanto, para a utilização em misturas sólidas ou fluídas, com macronutrientes primários ou secundários, aplicação diretamente no solo ou via fertirrigação, as garantias mínimas não poderão ser inferiores a 1% em produtos sólidos e 0,5% em produtos fluídos solúveis em água (BRASIL, 2004).

A essencialidade do silício é muito difícil de ser comprovada devido à sua abundância na biosfera (WERNER e ROTH, 1983). É o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio, encontrado somente em formas combinadas como a sílica (SiO_2) e minerais silicatados (LIMA FILHO et al., 1999). Acumula-se no tecido de todas as plantas, representado de 0,1 a 10% da matéria seca (KORNDÖRFER et al., 2002a). Mesmo não sendo considerado essencial, do ponto de vista fisiológico e metabólico, para o crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1994), sua absorção traz inúmeros benefícios, principalmente para o arroz (BARBOSA FILHO et al., 2000).

Efeitos benéficos da adubação silicatada têm sido observados em várias espécies vegetais, notadamente quando estas estão submetidas a estresse biótico ou abiótico (FARIA, 2000, TRENHOLM et al., 2001; MA et al., 2001). Poucas são as informações com relação às melhores fontes de silício para uso na agricultura, no entanto,

alguns produtos já vêm sendo comercializados como fontes deste elemento, destacam-se: as escórias siderúrgicas, utilizadas para o fornecimento de Si e correção do solo, já que possuem em sua composição silicatos de Ca e Mg; subprodutos da produção de fósforo elementar; cimento; silicatos de magnésio (Serpentinitos); silicatos de potássio; termofosfatos; sílica gel e fontes naturais como a Wollastonita, que é um silicato de cálcio natural com altos teores de CaSiO_3 e alto grau de pureza utilizado como padrão para experimentos com silício.

É necessária a observação de alguns critérios para a escolha das melhores fontes de silício, as quais devem apresentar altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, altos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), além de baixos teores de metais pesados, em especial para os agregados siderúrgicos (KORNDÖRFER et al., 2002a).

A adubação com silício tem se mostrado eficiente também no controle e/ou redução da incidência de várias doenças importantes para o arroz. Uma aplicação de silício antes da semeadura pode eliminar ou reduzir o número de aplicações com fungicidas durante o ciclo da cultura. Com base nisso, várias doenças foram avaliadas quantitativamente por um período de três anos, concluindo-se que o silício pode exercer controle efetivo de algumas doenças com redução do impacto ambiental e aumento da produtividade (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995).

4.4.1 Silício no solo

O óxido de silício (SiO_2) é o mineral primário mais abundante em solos tropicais e constitui a base estrutural da maioria das argilas (BARBOSA FILHO et al., 2000). Mas, devido a processos de intemperização, lixiviação mais acentuada e cultivos intensivos, os solos agrícolas tropicais tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicatização (TISDALE et al., 1993; LIMA FILHO et al., 1999). Esses solos, quando utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de silício, podem se tornar deficientes no elemento, pois a exportação não é compensada pela adubação silicatada (LIMA FILHO et al., 1999). O contrário ocorre nos solos das regiões temperadas, que apresentam maiores teores de argilas silicatadas do que sesquióxidos de Al e Fe (MALAVOLTA, 1980).

Os óxidos de ferro e alumínio são os principais responsáveis pela adsorção do silício em solução (MENGEL e KIRKBY, 1987). Assim, a capacidade de liberação de silício para a solução do solo é influenciada pela quantidade de sesquióxidos e pelo grau de intemperismo do solo, mostrando que essa quantidade é diretamente dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida. Meyer e Keeping (2001) observaram correlação positiva entre os teores de silício e de argila no solo. Assim como, Hossain et al. (2001) observaram resposta mais intensa da cultura do arroz à adubação silicatada em solos arenosos, em comparação a solos argilosos.

Em experimento com quatro solos no Triângulo Mineiro, Korndörfer et al. (1999) observaram que a disponibilidade de silício seguiu a seguinte ordem decrescente: Latossolo roxo distrófico, Latossolo vermelho-escuro, Latossolo vermelho-amarelo álico e areia quartzosa álica, encontrando valores de 10,5, 6,6, 5,7 e 3,2 mg dm⁻³, respectivamente, utilizando como extrator o ácido acético 0,5 mol L⁻¹. Essa diferença pode estar relacionada ao teor de argila, pois os solos arenosos, por apresentar predominância de quartzo na composição mineralógica, tendem a adsorver menores quantidades de Si.

Em outro estudo, relatado por Camargo et al. (2002), comparou-se a disponibilidade de silício em relação às características texturais de 19 solos sob vegetação de cerrado. Os autores observaram que os valores de silício diminuíram à medida que o teor de areia dos solos aumentou, apresentando correlação significativa. Solos com altas porcentagens de areia apresentaram tendência a baixos teores de Si, pois o quartzo com alto teor de SiO₂, presente em grande quantidade nesses solos é praticamente inerte. Além disso, solos muito arenosos possuem drenagem excessiva, carreando o Si disponível para horizontes mais profundos. Foi observado também que, os teores de silício aumentaram com a quantidade crescente de argila dos solos, esse comportamento pode ser explicado pela capacidade de adsorção de Si pelas argilas, evitando sua lixiviação.

Savant et al. (1997a) atribuíram a queda da produtividade do arroz em várias regiões do mundo a uma possível diminuição do teor de silício no solo, e relataram três fatores que poderiam estar envolvidos nesse fenômeno: a) muitos solos de áreas produtoras de arroz de regiões tropicais e sub-tropicais apresentam graus variados de dessilicização; b) a velocidade de dissolução do silício no solo é muito baixa; c) o silício da solução do solo é

adsorvido por sesquióxidos que estão presentes em muitos solos tropicais (SAVANT et al., 1997b).

Um dos fatores mais estudados e que interfere na solubilidade do silício no solo, em condições aeróbicas, é o pH. A adsorção de silício monomérico por hidróxidos de ferro e alumínio recém precipitados e por argilas de um Latossolo aumenta com a elevação do pH de 4,0 até 9,0 (MCKEAGUE e CLINE, 1963).

O silício está presente na solução do solo como ácido monossilícico (H_4SiO_4) (RAIJ e CAMARGO, 1973) e comporta-se como um ácido fraco desprovido de cargas (MCKEAGUE e CLINE, 1963; RAIJ e CAMARGO, 1973). Encontra-se na forma não dissociada, o qual é prontamente absorvido pela planta (RAVEN, 1983).

As principais fontes de silício presentes na solução do solo são resultados da decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, da liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, dissociação de minerais cristalinos e não cristalinos, da adição de fertilizantes silicatados e da água de irrigação. E os principais drenos são a precipitação do silício em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico, a lixiviação, a adsorção pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

Em solo de cerrado, Alvarez (2004) observou que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de Si no sulco de semeadura, utilizando como fonte o silicato de cálcio, proporcionou maior teor de silício em relação ao já existente no solo, resultado semelhante foi obtido por Mauad et al. (2003b) em um Latossolo Vermelho distróferico.

Korndörfer et al. (1999) ressaltam que em solos com baixos teores de “silício disponível”, a adubação com silicato de cálcio além de fornecer silício, pode melhorar as características químicas do solo tais como elevação do pH, saturação por bases, redução da saturação por alumínio e aumento do Ca trocável.

Os valores de silício no solo, utilizando como extrator o ácido acético, são considerados baixos quando menores que 6 mg dm⁻³, médios entre 6 e 24 mg dm⁻³, e altos, acima de 24 mg dm⁻³, sendo estes intervalos estimados para os solos orgânicos e arenosos da Flórida (KORNDÖRFER et al., 2001). Solos com teores de silício, extraídos em ácido acético, inferiores a 10 mg dm⁻³, deveriam receber adubação silicatada para obtenção de rendimentos

máximos, enquanto que, solos com teores superiores a 15 mg dm^{-3} , não necessitariam do elemento (KORNDÖRFER et al., 2003).

4.4.2 Silício na planta

As plantas absorvem o silício da solução do solo na forma de ácido silícico H_4SiO_4 (TISDALE et al., 1993). A absorção de silício pelas plantas de arroz parece ser um processo ativo, enquanto que para outras espécies como trigo, girassol e soja, esse mecanismo parece ser passivo (VORN, 1980). Segundo Mengel e Kirkby (1987), a absorção de silício é feita de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo transpiratório, enquanto para Takahashi (1995), a absorção é feita de forma ativa, pois a absorção de silício não é inibida quando o fornecimento de água é interrompido temporariamente, sendo a absorção influenciada por inibidores da respiração.

O silício é depositado na forma de sílica gel na parede celular da epiderme das folhas, colmos e casca, formando uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose (YOSHIDA et al., 1959; YOSHIDA et al., 1962; RAVEN, 2003). A deposição de silício aumenta a rigidez da parede celular, a resistência do arroz a pragas, doenças, acamamento, melhora a interceptação de luz e diminui a transpiração (EPSTEIN, 1994, TAKAHASHI, 1995; AGARIE et al., 1998; BARBOSA FILHO et al., 2001).

A deposição de silício absorvido é influenciada por vários fatores, dentre eles pela idade da planta, do tipo e localização dos tecidos envolvidos e da absorção através das raízes, além da transpiração. A variação ampla dos teores de silício no tecido vegetal é resultado tanto da fisiologia das diferentes espécies, quanto do ambiente onde as plantas se desenvolvem (CHAGAS, 2004). Na planta existem três locais reconhecidos de deposição de Si: a parede celular, o lúmen celular e os espaços intercelulares nos tecidos das raízes, colmos ou na camada extracelular da cutícula (SANGSTER et al., 2001).

A principal forma na qual o silício é encontrado na planta é a sílica amorfa hidratada, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ e depois na forma de polímeros, formando complexos com polifenóis de grande estabilidade e baixa solubilidade. A maior parte do silício deposita-se no apoplasto na forma sólida, onde se torna imóvel. Nas folhas de arroz, forma-se uma camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, contribuindo para fortalecer a estrutura da

planta, aumentar a resistência ao acamamento, reduzindo a perda de água e dificultando a penetração de hifas de fungos (TAKAHASHI, 1995, KORNDÖRFER et al., 2002). Em função desta dupla camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, além de menor transpiração que reflete em maior economia de água, as plantas de arroz mantêm suas folhas mais eretas promovendo maior aproveitamento da luz, refletindo num maior aproveitamento fotossintético (DEREN et al., 1994; TAKAHASHI, 1995).

Savant et al. (1997b) afirmam que após o silício ser absorvido pelas plantas como ácido monossilícico e a água ser perdida pela evapotranspiração, o silício fica depositado no tecido da epiderme das folhas de arroz. Assim, há evidências de que a redução da transpiração cuticular pode chegar a 30% nas plantas tratadas com silício (YOSHIDA et al., 1959). Horiguchi (1988) e Agarie et al. (1998) encontraram menor taxa de transpiração em plantas que cresceram em meio onde havia silício.

Outro aspecto importante diz respeito à quantidade de sílica (SiO_2) absorvida pelas plantas de arroz que, segundo Takahashi (1995), é 6 vezes maior que a de K, 10 vezes maior que a de N, 20 vezes maior que a de P_2O_5 e 30 vezes maior que a de Ca. Segundo Deren et al. (1994) as plantas diferem bastante quanto à capacidade de absorver silício, assim, genótipos de arroz diferem no teor de silício, respondendo de modo diferente à aplicação do elemento.

Winslow (1992) observou que genótipos de arroz do grupo Japônica apresentavam concentrações de silício de 50 a 100% mais altas que genótipos do grupo Índica, e cultivares tradicionais apresentam maior eficiência na absorção desse elemento. Barbosa Filho et al. (1998) também encontraram diferenças significativas na porcentagem de silício na palha do arroz das cultivares Caiapó e Carajás e na linhagem CNA 7706.

As plantas superiores podem ser classificadas em relação ao acúmulo de Si como acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias (MIYAKE e TAKAHASHI, 1983). Segundo Raij (1991), as concentrações de Si nas gramíneas chegam a ser de 10 a 20 vezes maiores do que nas dicotiledôneas.

A movimentação de Si na forma monomérica H_4SiO_4 até as raízes, depende de sua concentração na solução do solo e da espécie de planta. Em baixas concentrações, há redução no transporte por fluxo de massa, porém passa a ser significativo

quando se trata de plantas acumuladoras cultivadas em solos com elevados teores do elemento (MARSCHNER, 1995).

Em geral, os benefícios do Si para as plantas são melhores observados em culturas que o acumulam de modo ativo (MA et al., 2001). A ausência de resposta à fertilização silicatada por parte das plantas não significa que o Si não influencie o crescimento das mesmas, pois, muitas vezes, o solo contém este elemento em abundância e supre seu requerimento para o crescimento saudável da maioria das espécies. Nesses casos, seus efeitos geralmente são mais intensos sob condições de estresse.

Foi observado que o Si aumenta o número total de espiguetas por panícula (MA et al., 1989; DEREN et al., 1994; TAKAHASHI, 1995), a fertilidade das espiguetas (MATOH et al., 1991; TAKAHASHI, 1995) e a massa de grãos (BALASTA et al., 1989; MATOH et al., 1991; CARVALHO, 2000; MAUAD et al., 2003). Com relação ao número de panículas, os resultados encontrados na literatura são contraditórios, enquanto Takahashi (1995) observou aumento, Ma et al (1989), Deren et al. (1994), Carvalho (2000) e Mauad et al. (2003a) não obtiveram aumento significativo.

Takatsuka et al. (2001) relacionaram a baixa porcentagem de espiguetas granadas aos baixos teores de silício na planta. Segundo Ma (2004), o número de espiguetas granadas é o componente da produção mais influenciado pelo silício, em plantas de arroz e cevada.

Ma et al. (1989) observaram que a adubação silicatada na cultura do arroz aumentou o número de panículas, o número total de espiguetas por panículas, sendo que, o peso de 1000 sementes permaneceu estável. O maior efeito do silício ocorreu aumentando a fertilidade de espiguetas. Os autores constataram também que o estágio de maior absorção de silício foi o reprodutivo. Assim, Takahashi (1995) verificou que a ausência de silício reduziu o número de panículas m^{-2} , o número total de espiguetas por panícula e a fertilidade das espiguetas, não interferindo na massa de grãos.

No entanto, Carvalho (2000), em condições de campo, estudou efeitos de fontes e doses de silício nos componentes da produção da cultura do arroz, cultivar IAC 202, irrigado por aspersão, não obteve resposta significativa para o número de panículas por metro quadrado, número de espiguetas por panícula, fertilidade das espiguetas e produtividade, com exceção apenas da massa de grãos.

Estudos desenvolvidos por Korndörfer et al. (2002b) avaliaram o efeito de quatro doses de silício (0, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹) na forma de silicato de cálcio, em dois solos de cerrado (Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico), sobre a produção de grãos da cultura do arroz e a tolerância à falta de água (3 níveis de água 60, 70 e 80% C.C.), tendo como princípio o fato de que uma planta que acumula silício na epiderme das folhas é mais tolerante à falta de água porque consegue ser mais eficiente na regulação da transpiração. Os autores verificaram que o silício promoveu aumento na produção de grãos e tolerância à falta de água, sendo que os efeitos do silício sobre a produção de grãos foram maiores quando os solos foram submetidos a uma menor disponibilidade hídrica.

O excesso de Fe²⁺ na solução do solo pode provocar toxidez deste elemento no arroz e causar deficiência de outros micro e macronutrientes essenciais à nutrição da planta (PONNAMPERUMA, 1972). A presença do Si na planta tem aumentado a tolerância do arroz à toxidez de Mn e Fe, fato atribuído à maior oxidação que esses dois elementos sofrem na rizosfera, em função do silício aumentar o número e o tamanho dos aerênquimas nas plantas de arroz, estruturas responsáveis pela condução do oxigênio da parte aérea para as raízes, aumentando o poder oxidativo, diminuindo a toxidez de ferro e manganês na planta (HORIGUCHI, 1988; VERMAS e MINHAS, 1989; GALVEZ et al. 1987).

Outros estudos demonstram que a adubação com Si aumentou a concentração de P na planta e nos grãos de arroz, onde não houve adubação com fósforo. A eficiência de fertilização fosfatada foi melhorada quando aplicada em conjunto com uma fonte de Si (SAVANT et al., 1997b).

Pesquisas científicas têm demonstrado o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida da planta, com papéis bastante diversos. Além de promover melhorias no metabolismo, em situações de estresses bióticos pode ativar genes envolvidos na produção de fenóis e enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta (LIMA FILHO et al., 1999). O silício, sendo absorvido em grande quantidade, pode estimular diferentes mecanismos de defesa das plantas, e estes efeitos podem ser diretos, como é o caso da barreira mecânica, ou indiretos, como a indução dos fenóis (fitoalexinas), que são compostos orgânicos tóxicos para várias espécies de fungos e insetos (RODRIGUES et al., 2004).

Portanto, umas das explicações para o controle de doenças seria a formação de fenóis induzida pela absorção de Si. Compostos fenólicos acumulam-se nos sítios de infecção, cujas causas ainda não estão esclarecidas. O Si pode formar complexos com os compostos fenólicos e elevar a síntese e mobilidade destes no apoplasto. Uma rápida deposição de compostos fenólicos ou lignina nos sítios de infecção é um mecanismo de defesa contra o ataque de patógenos, e a presença de Si solúvel facilita este mecanismo de resistência (MENZIES et al., 1991).

Estudos realizados no sul da Flórida demonstraram que a adubação com silício reduziu a incidência de brusone de 17 a 31% e a mancha parda de 15 a 32%, em comparação ao tratamento que não recebeu silício (DATNOFF et al., 1991). Santos et al. (2003) obtiveram bons resultados utilizando o silício no controle das principais doenças do arroz irrigado no Tocantins. A brusone foi reduzida em aproximadamente 19% por efeito do silício, e, em média, a produção foi 33% superior nas parcelas adubadas com silício.

A incidência de doenças é menor quando o teor de silício no tecido da planta é maior (DATNOFF et al., 1990, 1991). Dessa forma, o efeito do silício sobre as doenças do arroz é ainda mais marcante quando o mesmo é adubado com doses elevadas de N (DATNOFF et al., 1990). Isso ocorre em função da adubação nitrogenada deixar o arroz mais sensível às doenças e, particularmente ao ataque de brusone (*Pyricularia grisea*).

Prado e Fernandes (2000) demonstraram que a aplicação de escória de siderurgia, produto à base de silicato de cálcio, reduziu significativamente a senescência das folhas de cana-de-açúcar de 35,6% para 26,9%. De acordo com os autores, o uso do material como fonte de Si para a lavoura canavieira pode incrementar ainda mais sua taxa fotossintética, em razão do prolongamento da vida útil das folhas, com reflexos na produtividade.

Korndörfer et al. (2002a) relataram que em Maurícius, na África, o uso de silicato de cálcio na dose de 7,1 t ha⁻¹ proporcionou aumentos de produção durante ciclo de avaliação de seis anos da cana-de-açúcar. Em outro estudo, Datnoff et al. (2001) observaram que o fornecimento de Si promoveu incrementos na produção de cana-de-açúcar da ordem de 11 a 16% na cana-planta, e de 11 a 20% na cana-soca.

4.5 Utilização do gesso agrícola no sistema plantio direto

Segundo Malavolta (1985) o gesso agrícola é subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados acidulados e parte integrante do superfosfato simples (SPS), que é uma mistura de partes aproximadamente iguais de fosfato monocálcico e de gesso. No processo de obtenção do ácido fosfórico a partir da apatita, é produzido o gesso como subproduto, e para cada tonelada de ácido fosfórico, são produzidas, em média, 5,5 toneladas de gesso agrícola.

O gesso tem sido utilizado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário (SILVA et al., 1998). Sua alta mobilidade tem sido atribuída à maior solubilidade e à presença de um ânion estável (SO_4^{2-}). Além disso, outro fato que contribui para a maior lixiviação deste material é que nas condições da camada arável de solos cultivados, onde prevalecem cargas negativas, acidez corrigida e presença de teores consideráveis de fosfatos, a permanência de sulfatos é desfavorável (RAIJ, 1988).

O ânion SO_4^{2-} forma par iônico neutro com o íon Ca^{2+} , e com isto o leva até a subsuperfície do solo, mas pode ainda formar AlSO_4^{2-} (PAVAN et al., 1982), que é menos disponível, e outras formas de alumínio não trocáveis (PAVAN et al., 1982, 1994). Isto demonstra que o gesso pode reduzir a atividade do Al em solução (ALVA et al., 1986), e também aumentar os teores de Ca na subsuperfície do solo (CHAVES et al., 1988; FARINA e CHANNON, 1988). Em função disso, ocorre maior desenvolvimento de raízes em profundidade e maior aproveitamento de água e nutriente pelas plantas (FARINA e CHANNON, 1988).

Além disso, tem sido proposto o emprego do gesso agrícola como fonte alternativa de cálcio e enxofre para as culturas (MALAVOLTA et al., 1981; ROSOLEM e MACHADO, 1983; VITTI et al., 1985). Como já foi dito, esse produto, quando comparado ao calcário, apresenta maior solubilidade em água, sendo, portanto, capaz de lixiviar o cálcio até maiores profundidades. Na aplicação do gesso, alguns autores encontraram uma diminuição nos teores de magnésio e potássio no solo, que são lixiviados, portanto, sugeriram a aplicação conjunta do gesso com o calcário (QUAGGIO et al., 1982, ROSOLEM e MACHADO, 1983; MALAVOLTA, 1983; PAVAN et al., 1984; VITTI, 1988; ALCARDE, 1988, RAIJ et al., 1994).

Caires et al. (1998), em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, verificaram que 24 meses após a aplicação de 12 t ha^{-1} de gesso em superfície, cerca de 60% do S-SO_4^{2-} já haviam sido lixiviados para abaixo de 0,80 m de profundidade no perfil, e que apenas uma pequena parte do S-SO_4^{2-} (10%) encontrava-se na camada de 0-0,20 m. Em outro estudo, Caires et al. (2003), em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso (580 e 680 g kg^{-1} de argila nas camadas de 0-0,20 e 0,40-0,60 m, respectivamente), observaram que 20 meses após a aplicação, o S-SO_4^{2-} proveniente do gesso estava distribuído regularmente por todo o perfil do solo até a profundidade de 0,60 m. Portanto, existe diferenças na velocidade de movimentação do S-SO_4^{2-} em diferentes solos, devendo ser mais lenta em solos mais argilosos, e com altos teores de óxidos de ferro e alumínio (CAMARGO e RAIJ, 1989; CAIRES et al., 2003).

Caires et al. (1998) obtiveram resposta à aplicação de gesso na redução dos teores de Al trocável, no aumento dos teores de cálcio em todo perfil do solo e na lixiviação de bases, principalmente de magnésio, sendo esta mais acentuada na presença de maiores teores de Mg trocável no solo. Ao contrário, Nogueira e Mozeto (1990) observaram que quando foi utilizada a combinação de calcário e gesso, em seis solos sob vegetação de cerrado, houve menor lixiviação de magnésio e potássio, o que pode diminuir os possíveis desequilíbrios nutricionais com aplicação somente de gesso.

Por outro lado, Soratto e Crusciol (2008a) constataram efeito da aplicação superficial de gesso até a camada de 0,40 a 0,60 m, com incremento nos teores de S-SO_4^{2-} e Ca^{2+} , e redução nos teores de Al^{+3} aos 12 meses. Quanto ao Mg^{2+} , os autores constataram incremento até a camada de 0,10 a 0,20 m na amostragem realizada aos 12 meses e redução em todo o perfil na amostragem de 18 meses.

Raij (2007) destaca ainda que é comum existir uma certa confusão quanto ao papel do calcário e do gesso na correção do solo, mas deve ficar claro que os dois produtos são muito diferentes. A calagem atua na camada mais superficial do solo e o gesso atua em profundidade. Assim, nunca se pode esperar da gessagem um efeito igual ao da calagem, pois normalmente o efeito é três vezes menor, mesmo onde há resposta à aplicação.

O calcário e o gesso têm reações diferentes no solo. O carbonato de cálcio é um sal básico e, como tal, reage com qualquer ácido através de uma reação de neutralização. Portanto, o carbonato de cálcio neutraliza a acidez do solo pela formação do sal,

água e gás carbônico, ficando as cargas negativas expostas contrabalanceadas pelo Ca^{+2} . O importante no caso é o papel do íon carbonato de “receptor de prótons” ou, em outras palavras de íons de hidrogênio, que perdem seu caráter ácido ao serem incorporados em moléculas de água. Por outro lado, o gesso como sal neutro, não tem ação sobre a acidez. O ânion sulfato permanece como tal e não atua como “receptor de prótons”. Assim, o gesso não neutraliza a acidez. Dessa forma, sua reação na camada superficial do solo é tão somente a de troca de cátions (RAIJ, 2007).

No caso de solos arenosos de baixa fertilidade e baixos teores de matéria orgânica, doses de gesso acima de $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ tem causado efeitos negativos em culturas devido à remoção preferencial de magnésio da camada superior do perfil (SHAINBERG et al., 1989; ALCORDO e RECHEIGL, 1993). Em alguns experimentos a lixiviação já ocorre a partir de doses inferiores a $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ (QUAGGIO e RAIJ, 1982; ROSOLEM e MACHADO, 1984); enquanto em outros, ele só se inicia acima de $10,0 \text{ t ha}^{-1}$.

Em experimento realizado com lisímetros, e utilizando amostras de um Neossolo Quartzarênico, Ramos et al. (2006) aplicaram o equivalente a 2.000 mm de água destilada, e observaram, após 40 dias de incubação, aumento nos teores de cálcio nas parcelas tratadas com gesso, no entanto não houve correção da acidez.

Podem ser verificados resultados de vários outros trabalhos demonstrando a eficiência do gesso na melhoria de atributos químicos do subsolo (REEVE e SUMMER, 1972; PAVAN et al., 1984; SHAINBERG et al., 1989, SOUSA et al., 1996; CARVALHO e RAIJ, 1997; RAIJ et al., 1998; ERNANI et al., 2001; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a). Em geral, as respostas encontradas demonstraram decréscimos de alumínio e aumento de cálcio trocável nas camadas subsuperficiais, ocorrendo inclusive, em alguns casos aumentos nos valores de pH, como foi observado por Caires et al (2003) nas camadas de 0,20-0,40 m aos 8 meses e de 0,40-0,60 m aos 20 e 32 meses após a aplicação superficial de gesso.

Souza e Ritchey (1986), trabalhando com Latossolo Vermelho-Escuro álico, constataram que com o uso de $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de gesso houve produção de grãos de milho 68% maior, quando comparada com a testemunha, após 25 dias de deficiência hídrica. Carvalho et al. (1986) verificaram que o efeito da adição de gesso no cultivo de milho é mais marcante quando há déficit hídrico, do que com suprimento adequado de água.

Em outro estudo, Caires et al. (1999), avaliando as alterações químicas do solo pelo uso de gesso no SPD para as culturas de milho, trigo e soja, constataram que apenas a cultura de milho apresentou aumento de produção em decorrência do fornecimento de enxofre, porém, houve maior teor de cálcio trocável em todo o perfil, redução da saturação por alumínio e aumento da relação Ca/Mg do solo. As respostas em aumentos de produção foram relacionadas à melhoria nos teores de cálcio e/ou redução de alumínio nos subsolos envolvidos.

Em estudo sobre os efeitos do gesso e do calcário na produção e nos teores de nutrientes da parte aérea da cultura do arroz irrigado, Mesquita (1993) verificou que as doses de gesso aumentaram a produção e os teores foliares do Ca e S e reduziram os teores de Mg, P, Zn, Mn, Fe, K e Cu, sendo a produção máxima (7.548 kg ha^{-1}) obtida com a dose de 1.374 kg ha^{-1} de gesso na presença de calagem.

Resultados observados por Moraes et al. (1998) indicaram elevação do teor de magnésio e redução do teor de manganês em folhas do feijoeiro com a aplicação de calcário. A calagem e/ou a gessagem, todavia, não influenciaram os componentes de produção e a produção de grãos.

Atualmente os critérios de recomendação de gesso baseiam-se nos teores de Ca e Al trocáveis e também na porcentagem de argila presente nas camadas abaixo de 20 cm do solo. Raij et al. (1997) recomendam a aplicação de gesso quando a saturação de Al estiver maior que 40 % e/ou quando os teores de Ca forem inferiores a $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A necessidade de gesso é estimada pela fórmula: $\text{NG} (\text{kg ha}^{-1}) = 6 \times \text{g kg}^{-1}$ de argila.

Na cultura do feijão, Galon et al. (1996) observaram que o gesso aumentou os teores de Ca nos grãos e a associação calcário-gesso elevou o teor de S nas folhas e aumentou o peso de 100 grãos.

Contiero (1995) observou que a aplicação de calcário isoladamente foi superior à adição da mistura de calcário e gesso, e somente gesso, sobre a cultura da cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho-Escuro de textura média. Demonstrou-se ainda que a aplicação de gesso, mesmo em conjunto com calcário, pode ou não resultar em efeitos desejáveis na produtividade da cultura, estando tal fato ligado a fatores do solo e da própria planta.

Ritchey et al. (1980) avaliando um ensaio de fosfato em Latossolo-Vermelho-Escuro na região do cerrado, observaram após a ocorrência de um veranico, que nos tratamentos com superfosfato triplo, as plantas de milho estavam murchas enquanto nos tratamentos com superfosfato simples, estavam túrgidas. Com análise mais detalhada puderam perceber que nos tratamentos que receberam superfosfato simples, o sistema radicular estava mais profundo possibilitando uma maior absorção de água das camadas subsuperficiais. Além desse fato, foi observado também que o solo continha mais cálcio e menos alumínio nas camadas inferiores. Os autores atribuíram estes efeitos benéficos sobre a cultura do milho ao gesso, contido no superfosfato simples, característica que o difere do superfosfato triplo.

Pesquisas sobre os efeitos da aplicação combinada e/ou isolada de corretivos da acidez e gesso agrícola em superfície, visando a melhoria da qualidade química do perfil do solo são muito importantes e não há dúvidas da necessidade de se avaliar a interação desses produtos no que se refere as características químicas, principalmente à movimentação de cátions, nutrição mineral e produção de culturas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento e características do local

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS, apresentando como coordenadas geográficas 51° 22' Oeste e 20° 22' Sul, com altitude de 335 metros, nos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05, com a rotação de culturas com arroz no verão e feijão no inverno.

A precipitação média anual é de aproximadamente 1.370 mm, a temperatura média anual é de 23,5°C e a umidade relativa do ar está entre 70 e 80% (média anual).

Os dados diários referentes às temperaturas máxima, mínima e precipitação durante a condução do experimento, coletados na Estação Meteorológica da Fazenda de Ensino e Pesquisa, estão contidos na Figura 1.

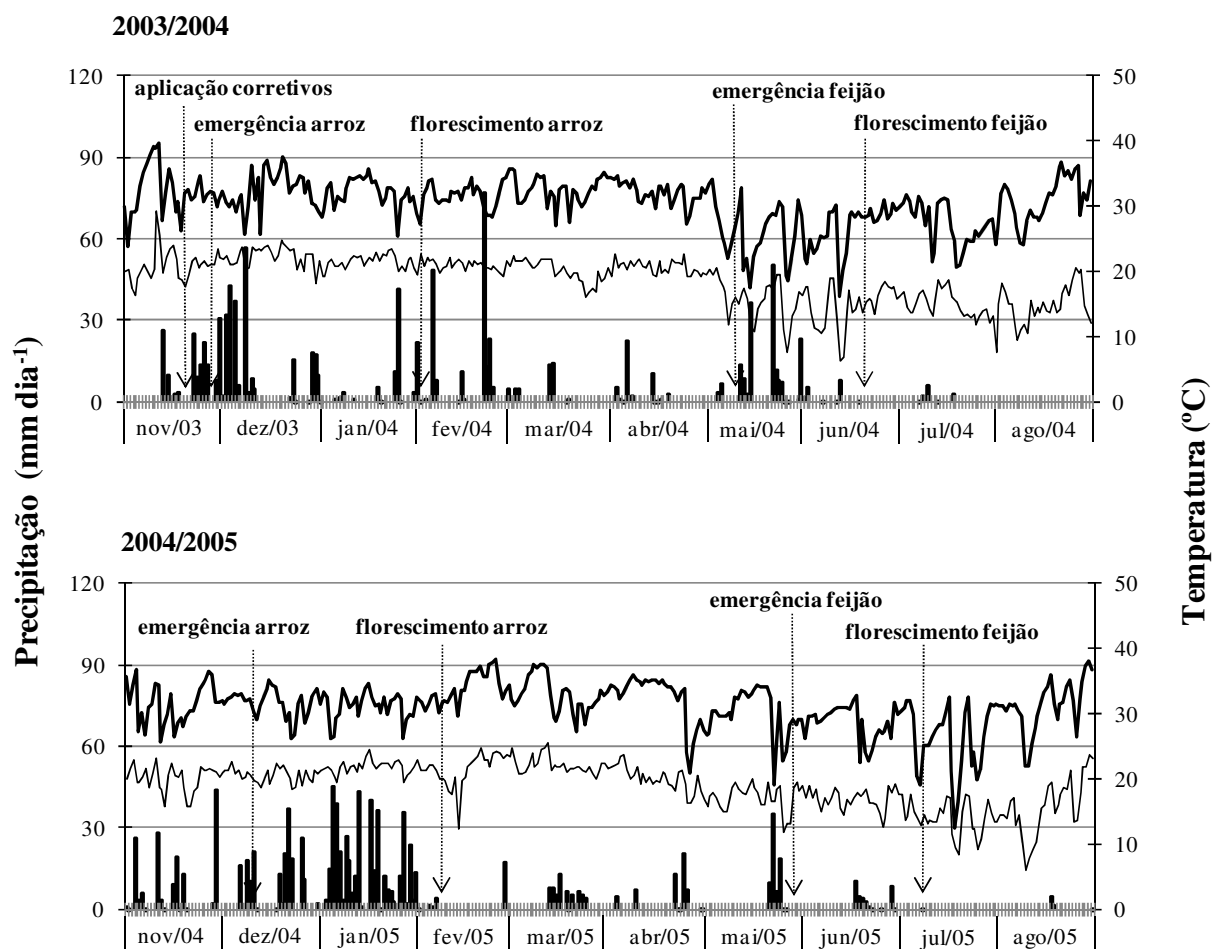


Figura 1. Precipitação (■), temperaturas máxima (—) e mínima (—) registradas durante a condução do experimento, nos anos agrícolas de 2003/2004 e 2004/2005.

5.2 Histórico da área experimental e caracterização do solo

A área experimental, localizada sob pivô central, foi cultivada por quatro anos no SPD, com milho no verão de 2002/03 e feijão no inverno de 2003.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso (EMBRAPA, 1999). Antes da instalação do experimento, em 2003, foi realizada análise química, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m para cálculo da necessidade de calagem e gessagem e nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, visando melhor caracterização da área experimental (Tabela 1). Também foram determinados,

na camada de 0-0,20 m, os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Zn e Mn com valores de 4, 17, 0,3 e 7 mg dm⁻³, respectivamente. O teor de argila encontrado no solo, na profundidade de 0,20-0,40 m, foi 500 g kg⁻¹. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Rajj et al. (2001).

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

Prof. (cm)	pH (CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	P (resina) ----- mg dm ⁻³	S-SO ₄ ²⁻ ----- mg dm ⁻³	Si*	Al	H+Al	K ----- mmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	CTC	V ----- %
0-20	5,1	27	20	16	5,9	0,0	40	1,5	19	12	72,5	45
0-5	5,1	28	22	14	6,2	0,0	40	3,3	18	14	75,3	47
5-10	5,1	25	28	14	5,4	0,0	40	0,7	16	10	66,7	40
10-20	5,2	26	16	16	5,7	0,0	37	0,6	18	13	68,9	46
20-40	5,3	23	8	40	4,7	0,0	34	0,6	12	9	55,6	39

*extrator cloreto de cálcio

Antes da aplicação dos produtos no campo, realizou-se a secagem em terreiro de alvenaria a luz do sol, mediante fina camada distribuída uniformemente, para redução do teor de água de forma a facilitar as misturas. Assim, os teores de água nos produtos ficaram entre 50 e 80 g kg⁻¹. As misturas foram confeccionadas em máquina betoneira como método de uniformização, e, posteriormente, todas as misturas bem como os produtos individualizados foram acondicionadas em sacos de rafia.

5.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. As parcelas apresentavam a dimensão de 35 m² (5,0 m x 7,0 m).

Os tratamentos utilizados foram: **1 – Testemunha** (sem corretivos e sem gesso agrícola), **2 – Gesso** (aplicação apenas de gesso agrícola), **3 – Calcário** (aplicação exclusiva de calcário), **4 – Silicato** (aplicação exclusiva de silicato), **5 – Mistura composta de Calcário + Silicato** (aplicação da mistura de calcário e silicato - CS, metade da dose de cada corretivo), **6 – Mistura composta de Calcário + Gesso** (aplicação da mistura da dose total de calcário e da dose total de gesso agrícola - CG), **7 – Mistura composta de Silicato + Gesso**

(aplicação da mistura da dose total de silicato e da dose total de gesso agrícola - **SG**) e **8 – Mistura composta de Calcário + Silicato + Gesso** (aplicação da mistura de calcário e silicato, metade da dose de cada corretivo e da dose total de gesso agrícola - **CSG**).

As doses dos corretivos, calcário ($2,1 \text{ t ha}^{-1}$) e silicato ($2,2 \text{ t ha}^{-1}$) foram calculadas para elevar a saturação por bases a 70%. A quantidade de gesso utilizada ($3,0 \text{ t ha}^{-1}$) foi determinada em função do teor de argila do solo (500 g kg^{-1}) na profundidade de 0,20-0,40 m conforme recomendação de Rajj et al. (1996).

5.4 Características dos cultivares

O cultivar de arroz de terras altas Primavera foi utilizado nas duas safras 2003/04 e 2004/05. O material é proveniente do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão – EMBRAPA, resultado do cruzamento IRAT 10 x LS 85-158. Apresenta como características porte médio (100-120 cm), ciclo curto (112 dias), 79-84 dias da emergência ao florescimento, grãos tipo longo fino (agulhinha), moderadamente suscetível a brusone (*Pyricularia oryzaea* Cav.) e ao acamamento (BRESEGHELLO et al., 1998). É recomendado para cultivo em área de abertura e em área já trabalhadas sob condições do cerrado ou de mata com baixa ou média fertilidade; devido a sua tendência ao acamamento em condições de alta fertilidade. Entretanto pode também ser cultivada em solos férteis, desde que utilizadas baixas doses de fertilizantes, principalmente nitrogenados (MEDEIROS, 2000).

Nos dois cultivos de feijão de inverno foi utilizado o cultivar Pérola, originado de seleção do cultivar Aporé, possui hábito de crescimento indeterminado com ciclo médio de 95 dias, porte semi-ereto (tipo II-III), sementes maiores de coloração bege clara com listras marrons-claras, resistência à ferrugem e ao mosaico dourado (EMBRAPA, 2008). É o material mais cultivado atualmente no Brasil, considerado de alto potencial produtivo.

5.5 Instalação e condução do experimento

Foi utilizado calcário com valores de Ca, Mg e PRNT próximos aos do silicato. O silicato utilizado foi o produto da empresa Recmix denominado comercialmente de Agrosilício. As características dos produtos utilizados estão contidas na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química dos produtos.

Produtos	S	SiO₂	Ca	Mg	PRNT
	-----%				
Gesso	17	-	22	-	-
Calcário	-	-	30	7,2	86
Silicato	-	23	26	7,8	82

Os produtos foram secos ao ar antes de serem misturados, assim, os teores de água ficaram entre 50 e 80%. As misturas foram estabelecidas com o auxílio de betoneira e, posteriormente, todas as misturas bem como os produtos individualizados foram acondicionadas em sacos de rafia. Os produtos foram aplicados no dia 12/11/2003, manualmente a lanço em superfície, sem incorporação ao solo e apenas no primeiro ano de condução do experimento, antes da primeira semeadura do arroz.

Os experimentos foram conduzidos sob irrigação por pivô-central, adotando tensiômetros no monitoramento e como indicativo de reposição de água os potenciais, na cultura do arroz, de 0,058 MPa (fases vegetativa e de maturação) e 0,033 MPa (fase reprodutiva), e, na cultura do feijão, de 0,05 MPa (fases vegetativa e de maturação) e 0,03 MPa (fase reprodutiva).

5.5.1 Cultivo do arroz (verão 2003/04 e 2004/05)

A semeadura do cultivar Primavera foi realizada mecanicamente em 12/11/03 e 16/11/04, no espaçamento de 0,36 m entrelinhas e densidade de 80 sementes viáveis por metro de linha. Cada parcela foi constituída por 12 linhas de 7 metros de comprimento, sendo a área útil as 4 linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades.

A adubação nos sulcos de semeadura constituiu-se de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 + 0,4% Zn, em ambas as safras. No primeiro ano, o controle de plantas daninhas foi realizado aplicando-se os herbicidas oxidiazon (750 g ha⁻¹ do i.a.) em pré-emergência, e bentazon (720 g ha⁻¹ do i.a.) em pós-emergência. No segundo ano, aos 18 DAE, utilizou-se metsulfuron methyl (2,0 g ha⁻¹ do i.a.).

Nos dois anos de cultivo, foram aplicados manualmente 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura na forma de uréia, aos 29 e 35 DAE, respectivamente, quando a cultura se encontrava próximo à diferenciação floral.

A emergência das plantas ocorreu aos 6 e 7 dias após semeadura (DAS) e o florescimento aos 76 e 70 DAE, em 2003/04 e 2004/05, respectivamente. A colheita do arroz foi efetuada manual quando 90% das panículas apresentavam grãos com coloração típica de maduros. O arroz apresentou ciclo de 104 e 91 DAE, no primeiro e segundo anos agrícolas, respectivamente.

5.5.2 Cultivo do feijão (inverno de 2004 e 2005)

A semeadura do cultivar de feijão Pérola foi realizada mecanicamente em 04/05/04 e 19/05/2005, no espaçamento de 0,50 m entrelinhas e densidade de 16 sementes por metro. Cada parcela foi constituída por 10 linhas de 7 metros de comprimento, sendo a área útil as 6 linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades. As sementes foram tratadas com carboxin (200 g do i.a.100 kg⁻¹ de sementes) e thiran (200 g do i.a. 100 kg⁻¹ de sementes).

Nos dois cultivos a adubação de semeadura constituiu-se de 220 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 + 0,4% Zn. Foram realizadas aplicações de inseticida chlorpyrifos (480 g ha⁻¹ de i.a.) e herbicida fluazifop-p-butil + fomesafen (200 + 250 g ha⁻¹ de i.a.). Para adubação de cobertura utilizou-se 70 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, aos 23 e 21 DAE, em 2004 e 2005, respectivamente.

Nos dois cultivos a emergência das plantas ocorreu aos 7 dias após semeadura (DAS), o florescimento aos 42 DAE e o cultivar Pérola apresentou ciclo de 84 DAE.

5.6 Avaliações realizadas

5.6.1 Caracterização do solo

Foram realizadas amostragens estratificadas do solo aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação dos corretivos, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade. Foram retiradas aleatoriamente oito amostras simples em cada profundidade, por parcela, para constituir uma amostra composta, sempre na entrelinha da cultura presente na área, com a utilização de trado de rosca. As amostras compostas foram secadas ao ar e peneiradas (malha 2 mm). Posteriormente foram submetidas à análise para determinação do pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), matéria orgânica, acidez potencial (H+Al), Al, Ca, Mg e K trocáveis e, calculada a saturação por bases (V%), conforme metodologia proposta por Raij et al. (2001). Vale ressaltar, que não foi detectada atividade de Al em todas as profundidades e em todos os tratamentos, assim, os resultados não foram apresentados.

Foram também determinados os teores de NO_3^- e SO_4^{2-} . A determinação do NO_3^- no solo foi realizada pelo método da destilação a vapor, descrito por Raij et al. (2001). Os procedimentos basearam-se na extração do N inorgânico (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) por solução de KCl a 1 mol L⁻¹. Nesse extrato, foi adicionado MgO, que converteu o NH_4^+ a NH_3 , a qual foi destilada. Em seguida, no mesmo extrato, foi acrescentado um produto redutor (Liga de Devarda), que converte o NO_3^- e NO_2^- a NH_3 , a qual também foi destilada e recolhida em solução de H_3BO_3 + indicador. A determinação de NO_3^- foi por titulação com ácido sulfúrico (0,0025 mol L⁻¹).

Os teores de S- SO_4^{2-} foram determinados através da extração por solução de fosfato de cálcio, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0,01 mol L⁻¹. A quantificação foi realizada por turbidimetria, provocada pela presença de BaSO_4 , formado pela reação do $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ com o SO_4^{2-} , extraído das amostras de terra (VITTI, 1988).

Também foi determinado o teor de silício no solo, utilizando a metodologia descrita por Korndörfer et al. (1999).

5.6.2 Diagnose foliar das culturas

No florescimento da cultura do arroz e do feijão, nos dois anos de cultivo, foram realizadas amostragens para diagnose foliar.

Na cultura do arroz, coletou-se 50 folhas bandeiras na área útil de cada parcela (CANTARELLA et al., 1996). O material foi acondicionado em sacos de papel

devidamente identificados e levados para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C, até atingirem peso constante. Em seguida, as folhas foram moídas e submetidas à análise para determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn), segundo metodologia de Malavolta et al. (1997) e teor de silício, conforme técnica descrita por Elliott e Snyder (1991), adaptada por Körndorfer et al. (1999).

Na cultura do feijão realizou-se a coleta em 10 plantas por parcela, todas as folhas foram separadas para diagnose foliar (AMBROSANO et al., 1996) e determinação de silício (KÖRNDORFER et al., 1999). Desta forma, seguiu-se os mesmos procedimentos adotados para a cultura do arroz.

5.6.3 Componentes da produção e produtividade de grãos

Na cultura do arroz (nos dois anos de cultivo) foram determinadas as seguintes variáveis:

- a) número de panículas por metro quadrado:** antecedendo a colheita, realizou-se a contagem do número de panículas contidas em 2,0 m de fileira de plantas na área útil de cada unidade experimental, e posteriormente calculado por metro quadrado;
- b) número total de espiguetas por panícula:** contagem das espiguetas de 15 panículas por unidade experimental, coletadas no momento da avaliação do número de panículas m^{-2} ;
- c) fertilidade de espiguetas:** determinada a partir da relação entre o número de espiguetas granadas por panícula e o número total de espiguetas por panícula, multiplicada por cem;
- d) massa de 1000 grãos:** coleta ao acaso e pesagem de quatro amostras de 1000 grãos de cada unidade experimental, corrigindo posteriormente o teor de água dos grãos para $130 g kg^{-1}$ (base úmida);
- e) produtividade de grãos:** determinada mediante a colheita manual de 4 fileiras de plantas de 4 m de comprimento em cada unidade experimental; a seguir foi realizada a trilha manual, secagem à sombra e limpeza do material, separando-se a palha e as espiguetas chochas com auxílio de uma peneira, por abanação manual e, em seguida, foi determinado o peso dos grãos colhidos e calculada a produtividade de grãos por hectare ($kg ha^{-1}$) e o teor de água corrigido para $130 g kg^{-1}$ (base úmida).

Para a cultura do feijão (2004 e 2005) foram determinadas as variáveis:

- a) População de plantas:** determinada mediante contagem do número de plantas contidas na área útil de cada unidade experimental;
- b) Número de vagens por planta:** contagem do número de vagens contidas em 10 plantas, coletadas ao acaso em cada unidade experimental no momento da colheita;
- c) Número de grãos por vagem:** contagem do número de grãos contido em 10 plantas coletadas ao acaso em cada unidade experimental no momento da colheita, em seguida dividiu-se esse valor pelo número de vagens por planta;
- d) Massa de 100 grãos:** determinada pela coleta ao acaso e pesagem de quatro amostras de 100 grãos de cada unidade experimental, corrigindo posteriormente o teor de água dos grãos para 130 g kg^{-1} (base úmida);
- e) Produtividade de grãos:** determinada após o arranquio manual, trilha mecânica e pesagem dos grãos provenientes de 6 fileiras de plantas de 5 metros de comprimento em cada unidade experimental; foi determinado o peso dos grãos colhidos e calculada a produtividade de grãos por hectare (kg ha^{-1}) e o teor de água corrigido para 130 g kg^{-1} (base úmida).

5.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 10% de probabilidade. Para verificar o efeito da presença de gesso nas misturas e da sua aplicação isolada foi realizada análise de contrastes ortogonais a 10% de probabilidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Características químicas do solo

Observou-se na Tabela 3, que após o período de 6 e 12 meses da aplicação dos produtos, houve efeito significativo sobre o pH do solo apenas na camada de 0-0,05 m, e aos 18 meses foi constatado atuação dos produtos em todas as profundidades.

Aos 6 meses, a aplicação silicato + gesso (SG) apresentou maior valor de pH (6,0) em relação à testemunha (5,3), mas não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, nem da aplicação isolada de gesso agrícola. O efeito do gesso no aumento do pH também foi observado em superfície (0-0,05 m) aos 12 e 18 meses e em profundidade (camada 0,20 a 0,40 m) aos 18 meses após aplicação dos produtos. Entretanto, apesar da tendência de redução da acidez observada pela aplicação de gesso, os valores encontrados não diferiram estatisticamente da testemunha. Sabe-se que o gesso agrícola não corrige a acidez do solo (CAIRES et al., 1998; RAIJ, 2007), embora diversos trabalhos tenham constatado seu efeito na elevação dos valores de pH, principalmente em subsuperfície (RAIJ, 1988; CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2003). No entanto, Raij (1988, 2007) atribui esse efeito basicamente a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio com o SO_4^{-2} , deslocando OH^- para a solução do solo e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez.

A correção da acidez do solo pela aplicação dos corretivos, aos 12

meses, ocorreu de forma semelhante entre as aplicações isoladas, e as misturas.

Após 18 meses, verificou-se efeitos mais expressivos dos produtos isolados e das misturas na elevação do pH do solo na superfície (0-0,05 m), contribuindo para uma acidez considerada baixa ($\text{pH} = 5,6 - 6,0$), de acordo com os limites de interpretação da camada arável do solo (0-0,20 m) preconizados por Raij et al. (1997). Nas demais profundidades observou-se efeito menos intenso no pH do solo, mas a correção ocorreu até 0,40 m.

Em geral, verificou-se, nas três épocas de amostragens, que não houve diferença entre a aplicação isolada dos corretivos (calcário e silicato) e a mistura de ambos, (Tabela 3). Desta forma, pode-se inferir, no presente trabalho que apesar de ser mais solúvel que o calcário, o silicato não foi superior na neutralização da acidez do solo em profundidade. Mesmo com reação restrita a área de aplicação, o calcário foi eficiente na correção do perfil do solo, após 18 meses da sua aplicação superficial, apresentando o mesmo comportamento do silicato. Estes resultados corroboram com os obtidos por Prado e Fernandes (2001) e Fonseca et al. (2007), que observaram similaridade entre silicato e calcário na correção do pH do solo, mas estão em desacordo com os de Ramos (2003), Oliveira (2004) e Barbosa et al. (2003), os quais constataram que o silicato apresentou melhor correção do pH em profundidade.

O mesmo comportamento foi observado por Nolla e Korndörfer (2007) que avaliaram a correção da acidez do perfil do solo proporcionada pelo carbonato e silicato de cálcio, e apesar de constatarem, após 12 meses, que os dois corretivos aplicados em superfície corrigiram o pH do solo, à medida que aumentou-se a dose, o carbonato foi mais eficiente para elevar o pH do solo em profundidade.

Tabela 3. Valores de pH em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	pH (CaCl ₂)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	5,3 b	5,2 a	5,3 a	5,3 a
Gesso	5,5 ab	5,2 a	5,3 a	5,4 a
Calcário	5,7 ab	5,3 a	5,3 a	5,4 a
Silicato	5,7 ab	5,3 a	5,4 a	5,4 a
Calcário + Silicato	5,7 ab	5,3 a	5,4 a	5,4 a
Calcário + Gesso	5,9 ab	5,4 a	5,4 a	5,5 a
Silicato + Gesso	6,0 a	5,4 a	5,5 a	5,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	5,8 ab	5,3 a	5,4 a	5,5 a
DMS	0,62	0,31	0,32	0,44
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5,11	2,75	2,83	3,80
----- 12 meses -----				
Testemunha	5,0 c	4,9 a	5,1 a	5,2 a
Gesso	5,1 bc	4,9 a	5,1 a	5,2 a
Calcário	5,4 ab	5,1 a	5,5 a	5,4 a
Silicato	5,5 a	5,2 a	5,2 a	5,3 a
Calcário + Silicato	5,4 a	5,0 a	5,2 a	5,3 a
Calcário + Gesso	5,5 a	5,1 a	5,2 a	5,3 a
Silicato + Gesso	5,6 a	5,1 a	5,2 a	5,4 a
Calcário + Silicato + Gesso	5,5 a	5,0 a	5,3 a	5,3 a
DMS	0,29	0,58	0,71	0,40
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2,55	5,39	6,43	3,56
----- 18 meses -----				
Testemunha	5,0 c	4,9 b	4,9 b	4,8 b
Gesso	5,1 bc	4,9 b	4,9 b	5,0 ab
Calcário	5,7 a	5,5 a	5,4 a	5,3 a
Silicato	5,7 a	5,4 ab	5,3 a	5,3 a
Calcário + Silicato	5,6 ab	5,4 ab	5,3 a	5,3 a
Calcário + Gesso	5,6 ab	5,5 a	5,4 a	5,3 a
Silicato + Gesso	5,6 ab	5,4 ab	5,3 a	5,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	5,5 abc	5,4 ab	5,3 a	5,3 a
DMS	0,55	0,55	0,32	0,35
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4,79	4,86	2,87	3,16

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Estes resultados podem, em parte, ser comparados com os de Prado et al. (2002) que também constataram que o efeito da escória na correção da acidez do solo foi inferior aos calcários utilizados na pesquisa (magnesiano e dolomítico), e atribuíram os resultados a dois fatores relacionados com o poder relativo de neutralização total (PRNT) de cada corretivo e sua forma de determinação, pois no método oficial, o PRNT é obtido através das determinações dos elementos Ca e Mg, que são transformados por cálculos estequiométricos nos respectivos óxidos. Assim, obtém-se o resultado expresso em equivalente de carbonato de cálcio (ECaCO_3) (BRASIL, 1983). Neste tipo de determinação do PRNT, espera-se que todo o Ca e Mg presentes nos corretivos estejam associados a bases químicas efetivas como carbonatos, óxidos, hidróxidos ou silicatos (ALCARDE e RODELLA, 1996).

Por outro lado, as escórias apresentam variação de seus constituintes químicos. Além das bases neutralizantes, esses produtos contêm outros compostos inexpressivos para a efetiva correção da acidez do solo (Whittaker, 1955, citado por PIAU, 1995). Assim, o cálculo seguindo o método oficial pode superestimar o valor do PRNT, ou seja, a capacidade real do material em neutralizar a acidez. Prado e Fernandes (2000b) observaram que a escória proporcionou reação mais lenta que a esperada, em comparação com o calcário, o que atribuíram ao método de determinação do PRNT.

Além disso, no SPD, existem fatores que interferem na aplicação superficial do corretivo e nos seus efeitos sobre o perfil do solo, ou seja, a dose, a granulometria do produto, forma de aplicação, tipo de solo, regime hídrico e tempo decorrido da aplicação (OLIVERIA e PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1999, 2000, 2003; RHEINHEIMER et al., 2000; MELLO et al., 2003; ALLEONI et al., 2005; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a; 2008b; 2008c; 2008d; 2008e).

Considerando a baixa solubilidade do calcário e a mobilidade limitada dos produtos de sua reação, não era esperada a correção da acidez do solo pela aplicação superficial, aos 18 meses, fato também verificado nos trabalhos de Oliveira e Pavan (1994), após 32 meses e Caires et al. (1999), após 18 meses da aplicação. De acordo com esses autores, houve movimentação física do calcário em profundidade, provavelmente por meio de canais formados por raízes mortas, mantidas intactas dada a ausência de preparo do solo.

No entanto, neste trabalho existe a possibilidade das condições adequadas de umidade do solo, pelo fornecimento de água via pivô durante todo o período de condução das culturas, ter proporcionado maior dissolução do calcário, o que pode ter contribuído para a correção do perfil do solo. Contudo, os trabalhos de Soratto e Crusciol (2008a; 2008c) demonstraram efeito da aplicação superficial na correção da acidez até 0,40 m com apenas 12 meses e Lima e Crusciol (2001) com cinco meses, na mesma profundidade.

Os teores de matéria orgânica foram influenciados pela aplicação dos produtos em superfície apenas na amostragem realizada aos 6 meses (Tabela 4). Constatou-se aumento nos teores de matéria orgânica na camada de 0,20–0,40 m de profundidade, na qual a aplicação de silicato proporcionou maior teor, diferindo da testemunha, do gesso e do calcário. Esse resultado pode ser decorrente de maior crescimento radicular em profundidade do arroz (SORATTO, 2005), uma vez que até essa amostragem apenas o arroz tinha sido cultivado. Além disso, como o silicato é mais solúvel, produtos da sua dissolução podem ter proporcionado melhoria no ambiente radicular nessa profundidade e, também, a uma resposta do arroz a maior presença de Si nesse tratamento. No entanto, Alleoni et al. (2003) observaram diminuição dos teores de matéria orgânica com doses de calcário aplicadas superficialmente.

Tabela 4. Valores de matéria orgânica no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	MO (g dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	26,0 a	23,5 a	23,5 a	21,0 b
Gesso	25,3 a	23,8 a	23,5 a	21,8 b
Calcário	26,8 a	24,3 a	23,5 a	21,5 b
Silicato	27,3 a	24,3 a	23,3 a	22,8 ab
Calcário + Silicato	27,3 a	24,5 a	22,8 a	22,5 ab
Calcário + Gesso	28,0 a	24,5 a	23,8 a	23,5 ab
Silicato + Gesso	27,5 a	25,8 a	24,5 a	25,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	27,8 a	23,5 a	24,0 a	24,0 ab
DMS	3,38	3,19	2,36	3,14
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5,90	6,19	4,71	6,47
----- 12 meses -----				
Testemunha	26,3 a	25,0 a	24,0 a	21,5 a
Gesso	27,5 a	25,3 a	24,0 a	22,3 a
Calcário	29,0 a	26,0 a	25,0 a	23,0 a
Silicato	30,5 a	26,3 a	25,0 a	23,0 a
Calcário + Silicato	28,3 a	26,5 a	24,0 a	24,0 a
Calcário + Gesso	28,0 a	25,8 a	23,8 a	23,5 a
Silicato + Gesso	30,0 a	26,5 a	24,5 a	23,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	28,8 a	25,5 a	24,0 a	22,8 a
DMS	4,40	3,54	4,62	3,72
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns	ns
CV (%)	7,25	6,44	8,94	7,65
----- 18 meses -----				
Testemunha	25,8 a	24,0 a	23,8 a	21,5 a
Gesso	26,3 a	24,0 a	24,3 a	22,5 a
Calcário	28,0 a	26,0 a	25,0 a	24,3 a
Silicato	27,5 a	26,0 a	24,8 a	24,0 a
Calcário + Silicato	27,8 a	26,5 a	24,8 a	23,5 a
Calcário + Gesso	27,8 a	26,3 a	25,0 a	23,8 a
Silicato + Gesso	28,0 a	26,8 a	25,0 a	23,8 a
Calcário + Silicato + Gesso	29,0 a	26,5 a	24,5 a	24,8 a
DMS	3,47	3,58	2,27	4,45
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5,92	6,54	4,34	8,89

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

A acidez potencial do solo (H + Al) aos 6 meses foi reduzida apenas na camada superficial de 0-0,05 m (Tabela 5). A aplicação dos produtos isoladamente ou em misturas reduziu significativamente a acidez potencial em relação à testemunha. O tratamento mais eficiente foi a mistura SG. No entanto, devem-se destacar as demais misturas com gesso (CG e CSG). Esse resultado é reflexo dos obtidos nesses tratamentos quanto ao pH (Tabela 3).

Nas amostragens realizadas aos 12 e 18 meses houve redução até 0,40 m e até 0,20 m de profundidade, respectivamente (Tabela 5).

Detalhando os resultados obtidos aos 12 meses, constatou-se, na camada de 0-0,05 m, maior eficiência das misturas (CS, CG, SG e CSG) e da aplicação de silicato em relação aos demais tratamentos, porém, com diferença significativa apenas para gesso e testemunha. Esse resultado pode estar associado à maior solubilidade do silicato e de um produto mais eficiente que seria a mistura CG em relação à aplicação isolada dos produtos dessa mistura. Soratto e Crusciol (2008a) fizeram a mesma constatação, ou seja, a aplicação de calcário associado a gesso foi mais eficiente na redução da acidez potencial em relação à aplicação isolada dos produtos. Na camada de 0,05-0,10 m o tratamento com silicato foi o mais eficiente, provavelmente, decorrente da maior solubilidade e da capacidade de correção de acidez, característica essa, que não pode ser atribuída diretamente ao gesso (RAIJ, 2007). Na camada de 0,10-0,20 m, constatou-se efeito das misturas que continham gesso na sua constituição, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Esse efeito foi pronunciado até a última camada, com destaque para a mistura SG. Ambos os produtos, silicato e gesso, são mais solúveis que o calcário e, portanto, tendem a reagir em tempo menor que o calcário e, conseqüentemente, os produtos de suas dissoluções começam a agir, neutralizando a acidez, quer seja pelo íon silicato como receptor de prótons, quer seja pela troca com os óxidos hidratados de Fe e Al.

Tabela 5. Valores de H + Al no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	H + Al (mmol _c dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	36,8 a	38,8 a	37,0 a	35,0 a
Gesso	31,3 b	37,8 a	36,3 a	34,0 a
Calcário	29,5 bc	37,5 a	36,3 a	32,8 a
Silicato	28,5 bcd	36,5 a	35,3 a	32,8 a
Calcário + Silicato	27,0 cde	36,8 a	35,3 a	32,8 a
Calcário + Gesso	25,3 de	35,3 a	35,0 a	32,0 a
Silicato + Gesso	23,5 e	33,5 a	33,5 a	32,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	25,3 de	36,3 a	34,5 a	31,8 a
DMS	3,69	7,16	5,49	5,94
Contraste (SG x CG)¹	***	ns	ns	ns
CV (%)	6,13	9,22	7,31	8,49
----- 12 meses -----				
Testemunha	41,8 a	46,3 a	39,3 a	37,0 a
Gesso	38,3 ab	45,3 ab	38,5 a	35,5 ab
Calcário	32,8 bc	42,3 ab	37,0 a	33,0 abcd
Silicato	31,0 c	42,5 ab	38,3 a	34,3 abc
Calcário + Silicato	32,3 c	42,3 ab	37,8 a	32,3 bcd
Calcário + Gesso	29,5 c	39,8 ab	30,3 b	30,3 cd
Silicato + Gesso	28,5 c	39,3 b	31,3 b	29,3 d
Calcário + Silicato + Gesso	29,5 c	39,8 ab	30,0 b	30,0 cd
DMS	5,55	6,55	5,67	4,74
Contraste (SG x CG)¹	***	**	***	***
CV (%)	7,92	7,31	7,56	6,82
----- 18 meses -----				
Testemunha	44,0 a	47,5 a	42,3 a	37,0 a
Gesso	41,5 a	46,0 ab	42,0 a	35,3 a
Calcário	31,3 b	38,0 bc	36,8 b	32,5 a
Silicato	30,3 b	38,0 bc	37,0 b	34,0 a
Calcário + Silicato	30,8 b	38,3 bc	36,0 b	34,3 a
Calcário + Gesso	30,0 b	34,8 c	35,0 b	33,3 a
Silicato + Gesso	30,0 b	35,3 c	34,5 b	33,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	30,3 b	35,3 c	34,5 b	32,5 a
DMS	7,13	8,29	4,25	8,94
Contraste (SG x CG)¹	ns	*	**	ns
CV (%)	10,00	9,96	5,36	12,37

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

O calcário e silicato ao reagirem com a água do solo, liberam hidroxilas (OH^-) e íons HCO_3^- e SiO_3^{2-} , respectivamente, os quais reagem com os componentes da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), diminuindo seus valores no solo, ocasionando aumento do valor de pH (MORAES et al., 1998). Dessa forma, os valores de acidez potencial encontrados estão coerentes com os resultados observados para o pH do solo, com exceção nas camadas de 0,05 a 0,40 m de profundidade, aos 12 meses, onde não houve efeito dos tratamentos nos valores de pH, no entanto, a acidez nestas camadas é considerada média, assim como a observada aos 18 meses, na mesma profundidade (0,05-0,40 m).

Na amostragem realizada aos 18 meses, constatou-se o mesmo comportamento até a profundidade 0,20 m, ou seja, a aplicação exclusiva dos corretivos e das misturas proporcionou efeito significativamente similar na redução da acidez potencial do solo. Novamente, devem-se destacar as misturas com gesso que proporcionaram os menores valores de $\text{H} + \text{Al}$ (Tabela 5).

Analisando o contraste constatou-se que a mistura de gesso aos corretivos proporcionou menores valores de $\text{H} + \text{Al}$, ou seja, o maior efeito nos tratamentos ocorreu devido à presença de gesso, o que pode ser observado aos 6 meses na profundidade 0-0,05 m, aos 12 meses até 0,40 m e aos 18 meses nas camadas 0,05-0,20 m de profundidade.

De acordo com os resultados de acidez potencial, é possível inferir que o efeito expressivo dos produtos ocorreu aos 12 meses após a aplicação, pois os valores de $\text{H} + \text{Al}$ aos 18 meses são maiores. Soratto e Crusciol (2008a) também constataram efeitos mais expressivos no perfil do solo (até 0,60 m) aos 12 meses; após essa data os efeitos foram desaparecendo.

Lima (2004), na fase de implantação do sistema plantio direto, verificou efeito da aplicação superficial de calcário até a profundidade de 0,20-0,40 m, apenas 5 meses após a aplicação do corretivo, e após 19 meses da aplicação o efeito da calagem superficial tinha desaparecido na camada mais profunda (0,20-0,40 m). Gonçalves (2003) verificou redução da acidez potencial com a aplicação de calcário em superfície, até a profundidade de 0,10-0,20 m, aos 24 meses após a aplicação do corretivo. Caires et al. (2000), em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, verificaram que a ação máxima da calagem sobre a acidez potencial ocorreu aos 28 meses após a aplicação, principalmente nas camadas superficiais.

A acidez potencial é representada pelos íons H^+ e Al^{+3} que se encontram adsorvidos nas partículas coloidais do solo. Estes íons encontram-se em equilíbrio com os íons da solução, portanto, quando há elevação do pH, os íons passam para a solução com a finalidade de manter o pH da solução constante. Desta forma, Prado et al. (2002) observaram acentuada redução da acidez potencial pela aplicação de calcário e em menor proporção, quando se aplicou a escória de siderurgia. No presente trabalho, esse resultado não ficou claro, pois os dois corretivos tiveram comportamento semelhante e o destaque ficou para a mistura silicato + gesso.

Com relação aos teores de $S-SO_4^{-2}$, verificou-se efeito significativo dos tratamentos em todas as profundidades nas três épocas de amostragens de solo. Em geral, a aplicação de gesso promoveu expressivo aumento nos teores de sulfato no solo até 0,40 m de profundidade (Tabela 6). A pequena retenção do $S-SO_4^{-2}$ nas camadas superficiais do solo pode ser atribuída aos maiores valores de pH observados nessas camadas. A elevação do pH promove a predominância de cargas elétricas negativas, que favorecem a movimentação do $S-SO_4^{-2}$ (CAMARGO e RAIJ, 1989; QUAGGIO et al., 1993; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a).

Aos 6 meses, observou-se acentuada movimentação do sulfato em profundidade, apresentando maiores valores na camada de 0,20-0,40 m. Em todas as camadas os valores foram significativamente maiores nos tratamentos que receberam gesso, seja de forma isolada ou em misturas, diferindo dos tratamentos que não receberam esse insumo. De forma mais detalhada, constatou-se que nas camadas superficiais (até 0,10 m) o maior teor de sulfato foi proporcionado pela aplicação isolada de gesso agrícola, e nas camadas de 0,10-0,40 m em todos os tratamentos onde o gesso fazia parte das misturas. O menor teor em todas as profundidades foi constatado no tratamento testemunha (Tabela 6).

Após 12 meses da aplicação dos produtos, constatou-se que os teores de sulfato foram reduzidos nas camadas superficiais, com exceção apenas nos tratamentos calcário + silicato + gesso (CSG) e SG, nas camadas 0-0,05 m e 0,05-0,10 m, que apresentaram valores elevados (117,5 e 113,3 $mg\ dm^{-3}$, respectivamente). No entanto, os teores de $S-SO_4^{-2}$ aumentaram em todo o perfil do solo com a aplicação de gesso, tendo ocorrido maior acúmulo nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, corroborando os resultados obtidos por Caires et al. (1998) e Soratto e Crusciol (2008a).

Tabela 6. Teores de S-SO₄⁻² no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	11,0 d	11,0 e	15,3 b	57,0 d
Gesso	98,0 a	166,8 a	202,3 a	219,5 ab
Calcário	14,3 d	16,3 e	23,0 b	100,5 c
Silicato	16,0 d	14,8 e	23,3 b	59,3 d
Calcário + Silicato	20,8 d	41,0 d	29,3 b	70,3 cd
Calcário + Gesso	71,3 b	73,3 c	184,0 a	194,0 b
Silicato + Gesso	69,8 b	102,3 b	185,5 a	193,0 b
Calcário + Silicato + Gesso	51,8 c	106,3 b	202,3 a	238,5 a
DMS	17,06	21,40	27,39	40,56
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	18,19	15,14	11,91	13,47
----- 12 meses -----				
Testemunha	31,5 e	17,0 e	32,8 e	84,0 e
Gesso	40,0 d	67,0 bc	92,3 b	173,0 b
Calcário	32,0 e	21,0 e	48,5 d	84,3 e
Silicato	36,8 de	57,0 cd	88,3 b	148,0 c
Calcário + Silicato	34,3 de	51,8 d	65,3 c	120,3 d
Calcário + Gesso	63,0 c	72,8 b	134,8 a	173,3 b
Silicato + Gesso	76,0 b	113,3 a	133,3 a	208,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	117,5 a	79,3 b	134,0 a	202,5 a
DMS	6,74	13,37	9,16	14,86
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	5,88	10,50	4,73	4,68
----- 18 meses -----				
Testemunha	15,0 d	22,0 d	25,0 e	33,0 e
Gesso	30,5 bc	36,8 c	42,8 c	168,3 b
Calcário	20,0 d	24,3 d	29,3 de	64,0 d
Silicato	26,3 c	33,8 c	24,0 e	67,5 d
Calcário + Silicato	28,3 bc	33,3 c	32,0 d	66,5 d
Calcário + Gesso	36,3 a	56,5 a	48,5 bc	143,3 b
Silicato + Gesso	32,0 ab	45,3 b	51,0 b	199,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	32,8 ab	47,3 b	63,8 a	115,3 c
DMS	5,47	8,34	6,79	26,69
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	9,30	10,49	8,07	11,71

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

O mesmo comportamento foi observado aos 18 meses após aplicação dos corretivos, ou seja, os tratamentos com gesso nas misturas calcário + gesso (CG), SG e CSG proporcionaram significativamente os maiores valores, diferindo da testemunha, e dependendo da profundidade analisada, diferindo do tratamento com gesso exclusivo e/ou calcário e/ou silicato e/ou CS. No entanto, os valores encontrados em todas as profundidades foram menores que os determinados nas duas primeiras amostragens (6 e 12 meses) (Tabela 6). Caires et al. (2003), em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso (580 e 680 g kg⁻¹ de argila nas camadas de 0-0,20 e 0,40-0,60 m, respectivamente), observaram que 20 meses após a aplicação, o S-SO₄²⁻ proveniente do gesso estava distribuído regularmente por todo o perfil do solo, até a profundidade de 0,60 m.

Pelos dados das três épocas de amostragens constatou-se que a aplicação exclusiva de silicato e calcário, assim como a mistura de ambos também proporcionaram aumentos de sulfato em profundidade, atingindo maiores valores na camada de 0,20-0,40 m. Esse resultado está de acordo com os observados por Camargo e Raij (1989), Caires et al. (1999) e Soratto e Crusciol (2008a) os quais verificaram que a adição de calcário melhorou o movimento de sulfato no solo em decorrência do aumento de pH, conforme já discutido.

Pela análise de contraste observou-se que a aplicação de gesso agrícola tanto em mistura como isolada aumentou os teores de sulfato em profundidade, nas três épocas de amostragens.

Considerando-se a necessidade que cada cátion possa apresentar movimentação vertical no solo é necessária a presença de ânions acompanhantes (RAIJ, 1988), a movimentação descendente de sulfato no perfil poderá ter como consequência a lixiviação de bases trocáveis (SINGH et al., 1980). Desta forma, segundo Caires et al. (1999; 2001) a melhoria do teor de sulfato no perfil do solo é de extrema importância para manter a produtividade de culturas gramíneas, principalmente, em condições de déficit hídrico.

Tabela 7. Teores de NO_3^- no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	NO_3^- (mg dm^{-3})			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	25,3 d	24,0 b	22,8 e	20,0 c
Gesso	26,8 d	24,3 b	25,0 de	22,0 bc
Calcário	38,0 bc	25,3 b	27,0 cd	22,0 bc
Silicato	36,5 c	29,3 ab	29,3 bc	22,5 bc
Calcário + Silicato	36,8 c	26,0 b	27,5 bcd	24,0 b
Calcário + Gesso	51,0 a	31,0 ab	30,3 b	29,3 a
Silicato + Gesso	45,0 ab	35,8 a	33,3 a	31,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	41,0 bc	35,3 a	30,0 b	31,8 a
DMS	7,99	8,14	2,81	3,25
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	10,02	13,27	4,70	6,04
----- 12 meses -----				
Testemunha	9,8 f	12,0 d	11,3 d	8,5 c
Gesso	12,8 e	13,3 d	14,3 c	15,3 b
Calcário	14,3 de	16,8 c	16,8 b	14,8 b
Silicato	19,3 c	18,3 bc	17,0 b	16,8 ab
Calcário + Silicato	16,3 d	17,8 bc	16,8 b	16,0 ab
Calcário + Gesso	23,3 b	18,8 abc	17,8 ab	17,3 ab
Silicato + Gesso	29,0 a	21,3 a	19,5 a	19,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	23,5 b	20,0 ab	18,0 ab	17,0 ab
DMS	2,83	2,51	2,11	3,23
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	7,20	6,84	6,05	9,75
----- 18 meses -----				
Testemunha	15,0 d	16,8 c	17,0 e	13,0 d
Gesso	17,8 cd	17,8 c	19,5 de	13,5 cd
Calcário	20,5 c	20,3 bc	23,0 bcd	18,0 b
Silicato	26,0 b	22,5 b	24,8 bcd	18,0 b
Calcário + Silicato	21,0 c	21,8 b	21,8 cde	17,0 bc
Calcário + Gesso	34,3 a	32,0 a	26,5 abc	26,8 a
Silicato + Gesso	35,0 a	34,0 a	31,0 a	27,8 a
Calcário + Silicato + Gesso	33,3 a	32,0 a	28,3 ab	25,8 a
DMS	4,74	3,74	5,73	3,92
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	8,80	7,13	11,24	9,23

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Os teores de NO_3^- no solo (Tabela 7) foram influenciados pelos tratamentos em todas as profundidades, nas três épocas de amostragens. Verificou-se aumento nos teores de NO_3^- com a aplicação dos corretivos, principalmente nas misturas com gesso, diferenciando significativamente da testemunha, evidenciando a possibilidade de perdas de NO_3^- por lixiviação. O processo de nitrificação é mais intenso em áreas sob sistema plantio direto e, principalmente, quando a calagem é realizada superficialmente, pois nessas condições a oxidação, em razão dos maiores valores de pH, é mais intensa e os teores de nitrato superam os de amônio, notadamente na camada superficial do solo. O predomínio do nitrato ocorre em função da adubação e da correção da acidez propiciarem condições favoráveis aos microrganismos nitrificadores (D'ANDRÉA et al., 2004).

Aos 6 e 18 meses os valores de NO_3^- encontrados no perfil do solo foram maiores em relação à segunda amostragem (12 meses). O N disponível no solo se encontra, principalmente, na forma de NO_3^- . A camada arável do solo pode apresentar teor de N, na forma de NO_3^- (N- NO_3^-), entre 2 e 60 mg kg^{-1} , sendo a variação em função da estação climática, já que o NO_3^- é muito solúvel em água, de modo que as águas de chuva e de irrigação podem arrastar o nutriente para o subsolo (RAIJ, 1991).

De acordo com a análise de contraste verificou-se que a associação de gesso aos corretivos aumentou os teores de NO_3^- no perfil do solo, ou seja, o maior efeito ocorreu nos tratamentos com gesso.

O ânion nitrato tem baixa interação química com os colóides do solo, pois a predominância de cargas negativas, pelo menos nas camadas superficiais, fazem com que o NO_3^- esteja sujeito à lixiviação para camadas mais profundas. A lixiviação do NO_3^- tem estreita dependência da quantidade de água que percola no perfil do solo (CANTARELLA, 2007). A movimentação do NO_3^- no perfil do solo em função da aplicação de gesso foi observada por Silva et al. (1998). A lixiviação de NO_3^- pode acarretar em lixiviação de Ca, Mg e menos intensa a de K, como relatam alguns autores (FARINA e CHANNON, 1988; CAHN et al., 1993).

Os maiores teores de K foram observados nas camadas superficiais (0-0,20, aos 6 e 12 meses, e 0-0,10 m de profundidade aos 18 meses. Dentre as amostragens, os maiores valores de K foram encontrados aos 18 meses após aplicação dos corretivos e gesso (Tabela 8).

Os teores de K (Tabela 8), após 6 meses da aplicação dos tratamentos, foram reduzidos na camada de 0,05-0,10 m e incrementados na (s) profundidade (s) de 0,10-0,20m e/ou 0,20-0,40 m, com a aplicação isolada ou em misturas com gesso, caracterizando o processo de lixiviação.

Aos 12 meses, os teores de K foram reduzidos significativamente com a aplicação dos produtos, nas profundidades de 0-0,05 m e 0,20-0,40 m. Nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, os tratamentos calcário e a mistura SG, respectivamente, proporcionaram teores semelhantes à testemunha. De modo geral, fica claro o efeito da aplicação dos produtos na lixiviação de K e na redução dos teores em relação à testemunha. Fica claro dois efeitos, que seriam a lixiviação decorrente da ação do SO_4^{2-} e NO_3^- como íons acompanhantes e do efeito massa, no deslocamento do K, decorrente da adição de Ca e Mg pelos produtos, acarretando em competição pelos sítios de troca dos colóides do solo.

Aos 18 meses, constatou-se efeito contrário ao que se tinha observado nas amostragens anteriores, ou seja, maiores teores de K, praticamente, em todas as profundidades, com a aplicação dos produtos, diferindo significativamente da testemunha, com exceção às duas camadas mais superficiais. Os dados levam a inferir que o efeito de lixiviação, argumentado nas amostragens anteriores tenha diminuído de intensidade.

Na camada de 0,05-0,10 m verificou-se maiores teores de K nos tratamentos com silicato e na mistura calcário + silicato (CS), em relação à testemunha, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A aplicação de silicato + gesso proporcionou maiores teores de K na camada 0,10-0,40 m de profundidade.

Analisando o contraste constatou-se que a mistura de gesso aos corretivos aumentou os teores de K no perfil do solo, ou seja, o maior efeito nos tratamentos foi devido à presença de gesso, o que pode ser observado aos 6 meses até 0,40 m, aos 12 meses até 0,20 m e aos 18 meses 0-0,05 e 0,10 a 0,40 m de profundidade.

Tabela 8. Teores de K trocável no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	K trocável (mmol _c dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	3,1 a	2,5 a	1,2 d	0,98 d
Gesso	1,8 f	1,2 e	2,7 a	1,2 bc
Calcário	2,6 bc	1,6 cd	1,4 cd	1,1 cd
Silicato	2,9 ab	2,0 b	1,4 c	1,2 bcd
Calcário + Silicato	2,7 bc	1,7 c	1,4 cd	1,1 cd
Calcário + Gesso	1,9 ef	1,4 de	1,6 b	1,3 ab
Silicato + Gesso	2,4 cd	1,4 de	1,5 bc	1,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	2,2 de	1,4 de	1,6 b	1,4 ab
DMS	0,29	0,26	0,19	0,21
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	5,72	7,42	5,71	8,10
----- 12 meses -----				
Testemunha	3,9 a	2,5 a	2,5 a	2,6 a
Gesso	1,9 d	1,1 d	1,5 bc	1,3 bc
Calcário	2,5 bc	2,3 a	1,1 d	0,8 d
Silicato	2,6 b	2,0 b	1,3 cd	0,9 d
Calcário + Silicato	2,6 b	2,1 b	1,2 d	0,8 d
Calcário + Gesso	1,9 d	1,5 c	1,6 bc	1,1 c
Silicato + Gesso	2,2 cd	1,2 d	2,4 a	1,3 b
Calcário + Silicato + Gesso	2,1 d	1,3 d	1,7 b	1,2 bc
DMS	0,39	0,22	0,27	0,22
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	ns
CV (%)	7,61	5,82	7,69	8,32
----- 18 meses -----				
Testemunha	2,3 e	2,0 b	0,9 d	0,8 e
Gesso	2,3 de	2,2 ab	1,6 c	1,2 d
Calcário	2,8 bc	2,5 ab	1,6 c	1,3 cd
Silicato	3,2 a	2,6 a	1,6 c	1,4 cd
Calcário + Silicato	3,1 ab	2,6 a	1,6 c	1,3 cd
Calcário + Gesso	2,4 de	2,4 ab	1,9 bc	1,4 c
Silicato + Gesso	2,8 c	2,5 ab	2,7 a	2,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	2,6 cd	2,5 ab	2,1 b	1,9 b
DMS	0,32	0,50	0,33	0,22
Contraste (SG x CG)¹	***	ns	***	***
CV (%)	5,63	9,80	8,88	7,12

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Segundo Pavan et al. (1982) o uso do gesso provoca lixiviação dos íons K^+ devido à formação de pares iônicos com os íons SO_4^{2-} provenientes da dissociação do gesso na solução do solo.

A lixiviação provocada pelo uso do gesso também foi observada por Souza e Ritchey (1986) e, segundo os autores, a calagem pode contribuir para a redução da lixiviação de potássio, mas não elimina o movimento proporcionado pelo gesso.

Os resultados deste trabalho corroboram os de Pavan et al. (1984) e Dalbó et al. (1986), que verificaram movimentação de K em profundidade, no entanto, discordam dos obtidos por Farina e Channon (1988), Silva et al. (1998) e Quaggio et al. (1982, 1991, 1993) que não verificaram movimentação de K em profundidade.

Com relação ao Ca trocável (Tabela 9), observou-se que a aplicação dos corretivos e desses em misturas com gesso aumentou os teores em todas as camadas, principalmente, nas superficiais (0-0,05 m), nas três épocas de amostragens. Pode-se observar também que os valores encontrados de Ca foram decrescentes da primeira para a última amostragem.

Após 6 meses, observou-se que a mistura de gesso aos corretivos propiciou os melhores resultados em todas as camadas, ou seja, os maiores teores de Ca, salvo exceções. Em geral, não houve diferença no fornecimento de Ca entre as misturas e o uso exclusivo de silicato. Além disso, a aplicação das misturas dos corretivos forneceu quantidade igual de Ca em relação à aplicação isolada do calcário e do silicato. Na camada de 0,20-0,40 m é evidente a contribuição do gesso na elevação dos teores de Ca em profundidade. Ficou claro que houve lixiviação de Ca com intensidades diferentes em razão do produto aplicado, e que a contribuição do gesso nesse processo foi expressiva.

Tabela 9. Teores de Ca trocável no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	Ca trocável (mmol _c dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	14,8 e	15,0 e	15,8 c	12,3 d
Gesso	26,3 d	16,5 de	21,3 b	19,3 a
Calcário	33,8 c	18,3 cde	17,5 bc	13,5 cd
Silicato	36,5 bc	22,0 abc	20,0 bc	16,5 b
Calcário + Silicato	35,0 c	20,0 bcd	19,3 bc	15,5 bc
Calcário + Gesso	43,0 a	25,0 a	22,0 b	20,0 a
Silicato + Gesso	46,0 a	23,5 ab	27,5 a	20,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	41,5 ab	23,5 ab	22,3 ab	20,3 a
DMS	5,39	4,35	5,47	2,33
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	7,33	10,00	12,42	6,36
----- 12 meses -----				
Testemunha	17,5 d	15,5 c	15,0 e	13,0 d
Gesso	18,5 d	18,3 bc	16,8 e	14,5 cd
Calcário	23,8 c	20,8 b	19,8 d	15,75 bc
Silicato	22,0 c	19,3 b	21,8 cd	17,3 ab
Calcário + Silicato	25,3 c	20,3 b	21,3 d	16,0 bc
Calcário + Gesso	36,5 b	27,3 a	23,8 bc	18,0 ab
Silicato + Gesso	43,0 a	28,5 a	28,3 a	19,8 a
Calcário + Silicato + Gesso	44,3 a	27,0 a	25,0 b	19,0 a
DMS	3,37	3,54	2,41	2,60
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	5,49	7,53	5,28	7,34
----- 18 meses -----				
Testemunha	14,5 c	13,8 c	12,0 e	10,3 c
Gesso	17,0 c	15,3 bc	14,0 de	12,0 bc
Calcário	24,0 b	17,3 b	15,8 cd	14,0 ab
Silicato	23,5 b	16,0 bc	16,3 bcd	14,5 a
Calcário + Silicato	23,0 b	16,8 b	17,3 abc	14,0 ab
Calcário + Gesso	36,0 a	21,0 a	19,3 a	15,0 a
Silicato + Gesso	35,5 a	22,3 a	17,8 abc	15,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	35,8 a	23,3 a	18,8 ab	15,8 a
DMS	3,15	2,89	2,58	2,37
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	5,67	7,48	7,42	8,08

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Aos 12 meses, como constatado na amostragem de 6 meses, as misturas de gesso aos corretivos propiciaram os melhores resultados em todas as profundidades, ou seja, os maiores teores de Ca. Os tratamentos com aplicação exclusiva dos corretivos (calcário ou silicato) e a sua mistura (CS) proporcionaram resultados intermediários entre as misturas com gesso e a aplicação exclusiva com gesso e a testemunha. Nessa amostragem deve ser chamada a atenção para o tratamento com a mistura silicato + gesso, no qual o resultado expressivo pode ser decorrente da maior solubilidade desses produtos em relação ao calcário. Houve lixiviação de Ca decorrente, provavelmente, da lixiviação do SO_4^{2-} e NO_3^- , uma vez que ambos podem participar como íon acompanhante deste cátion.

Aos 18 meses pode-se observar, nas camadas superficiais (até 0,10 m), que os tratamentos onde o gesso foi misturado aos corretivos forneceram maiores teores de Ca. Os teores de Ca na camada de 0,10-0,20 m também foram elevados pela mistura do gesso aos corretivos, no entanto, os tratamentos sem gesso também forneceram Ca, não diferindo estatisticamente da aplicação isolada de corretivos e gesso. A mistura de gesso aos corretivos aumentou os teores de Ca em profundidade (0,20-0,40 m), entretanto, o efeito isolado dos corretivos e a mistura de ambos (CS) também foram eficientes.

Independente do produto empregado ocorreu aumento significativo da concentração de Ca no solo, uma vez que, todos são fontes de Ca. No entanto, em todas as amostragens, o gesso misturado aos corretivos, foi mais eficiente em proporcionar maiores teores de Ca em profundidade, demonstrando sua movimentação no perfil do solo, o que pode ser observado pela análise de contraste.

O enriquecimento das camadas subsuperficiais com o Ca, quando utilizado o gesso agrícola, foi observado por Pavan et al. (1984), Dias et al. (1994) e Soratto e Crusciol (2008a). Pöttker e Ben (1998), Caires et al. (2000), Soratto e Crusciol (2008a, 2008b, 2008c, 2008d, 2008e) também verificaram elevação dos teores de Ca trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo, com a aplicação de calcário em superfície, e posterior redução nos teores. Os autores atribuíram tal redução à extração pelas culturas. No entanto, aos 18 meses após a aplicação foi possível observar efeito positivo da calagem, até a profundidade de 0,60 m, principalmente quando aplicada na presença de gesso, indicando que os corretivos continuaram reagindo na superfície e corrigindo o perfil do solo (CAIRES et al., 2000). Os resultados evidenciam que a aplicação associada de calcário e gesso em superfície pode

e elevar os teores de Ca trocável no subsolo (CAIRES et al., 2000; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a).

Quanto aos teores de Mg (Tabela 10), houve efeito dos tratamentos no perfil do solo nas três amostragens, com exceção da camada 0,10-0,20 m aos 12 meses. Observou-se movimentação expressiva do Mg em profundidade quando o gesso fazia parte dos produtos, principalmente quando a mistura foi composta também por silicato. A aplicação isolada dos corretivos e em mistura (CS) foram os tratamentos com menor intensidade de lixiviação de Mg, proporcionando os maiores teores desse elemento nas camadas superficiais (0-0,05 m e 0,05-0,10 m). A participação do gesso no processo de lixiviação do Mg fica evidenciado já na amostragem de 6 meses no tratamento com aplicação isolada de gesso. A lixiviação de Mg seguiu a mesma tendência observada por Pavan et al. (1984), Dalbó et al. (1986), Farina e Channon (1988), Dias et al. (1994), Silva et al. (1998) e Soratto e Crusciol (2008a).

Analisando o contraste verificou-se que a mistura de gesso aos corretivos aumentou os teores de Mg em profundidade, ou seja, o maior efeito nos tratamentos foi devido à presença do gesso agrícola.

O SO_4^{2-} pode não ter sido o único ânion acompanhante do Ca e do Mg no movimento no perfil do solo, pois notam-se elevados teores de Ca nas camadas 0,05-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,05-0,40 m de profundidade, aos 6, 12 e 18 meses, respectivamente, e de Mg nas camadas 0-0,40, aos 6 e 18 meses, e 0-0,10 m aos 12 meses, onde não houve mistura de gesso aos corretivos (calcário e silicato). Farina e Channon (1988) atribuíram certo papel para o NO_3^- como íon acompanhante do Ca, no seu movimento no perfil do solo. Além disso, Cahn et al. (1993) comentam que o NO_3^- também contribui para aumentar a lixiviação de Ca e Mg no solo.

A lixiviação do Mg é uma constatação freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos (CARVALHO et al., 1986, CAIRES et al. 1999; SORATTO e CRUSCIOL, 2008a). A aplicação de gesso em combinação com a calagem embora possa melhorar a distribuição do Mg proveniente do corretivo no perfil do solo, dependendo da dose de gesso utilizada e do tempo decorrido da sua aplicação, pode causar lixiviação muito intensa, reduzindo os teores de Mg nas camadas superficiais do solo. Perdas de Mg provocadas pelo uso de gesso na presença de calcário também foram observadas por Caires et al. (1998).

Tabela 10. Teores de Mg trocável no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	Mg trocável (mmol _c dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	11,0 c	9,8 c	12,0 b	9,5 d
Gesso	7,5 d	7,0 d	13,8 ab	12,0 bc
Calcário	23,3 a	12,0 ab	12,3 ab	10,5 cd
Silicato	19,5 b	12,3 a	12,8 ab	12,3 bc
Calcário + Silicato	22,3 ab	12,3 a	12,5 ab	12,0 bc
Calcário + Gesso	12,0 c	12,5 a	12,8 ab	14,0 ab
Silicato + Gesso	13,3 c	10,3 bc	14,5 a	15,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	12,8 c	11,5 abc	13,0 ab	13,8 ab
DMS	3,44	1,83	2,29	2,36
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	10,64	7,89	8,33	8,95
----- 12 meses -----				
Testemunha	10,8 b	7,3 cd	9,3 a	9,0 c
Gesso	10,3 b	6,0 d	10,5 a	10,0 bc
Calcário	19,8 a	11,5 a	10,5 a	9,0 c
Silicato	17,0 a	10,3 ab	9,8 a	9,8 bc
Calcário + Silicato	19,0 a	11,3 a	10,0 a	9,3 bc
Calcário + Gesso	12,0 b	9,3 abc	11,5 a	11,0 ab
Silicato + Gesso	12,3 b	8,0 bcd	10,5 a	12,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	11,5 b	9,3 abc	11,0 a	10,8 abc
DMS	3,13	2,32	2,73	1,79
Contraste (SG x CG)¹	***	***	**	***
CV (%)	10,45	11,98	12,35	8,35
----- 18 meses -----				
Testemunha	8,8 c	6,8 c	8,0 c	6,0 d
Gesso	7,8 c	6,8 c	9,3 bc	7,0 cd
Calcário	15,5 a	14,0 a	8,5 bc	9,0 ab
Silicato	14,0 a	11,3 b	8,0 c	8,8 ab
Calcário + Silicato	14,8 a	12,0 ab	8,3 c	8,3 cd
Calcário + Gesso	11,3 b	7,8 c	10,8 a	9,5 ab
Silicato + Gesso	9,3 bc	7,8 c	9,8 ab	10,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	10,0 bc	8,8 c	11,0 a	10,0 a
DMS	2,35	2,14	1,28	1,70
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	9,69	10,73	6,56	9,32

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Quanto à saturação por bases (Tabela 11) os resultados foram decorrentes dos efeitos dos tratamentos sobre as bases (K, Ca e Mg), ou seja, os tratamentos influenciaram os valores de V% em todas as profundidades, nas três amostragens de solo. O aumento observado está relacionado, principalmente, com a elevação de Ca e Mg. Os valores foram maiores na camada superficial (0-0,05 m), no entanto, não atingiram a saturação por bases desejada (70%). Deve-se ressaltar que os melhores resultados, em todas as profundidades e épocas amostradas, foram proporcionados pelas misturas que tiveram gesso na suas constituições, deixando claro que essa técnica, no presente trabalho, é uma alternativa interessante de ser utilizada na correção do perfil dos solos em aplicações superficiais de corretivos no sistema plantio direto, este fato pode ser visualizado pela análise de contraste.

Para o teor de silício constatou-se efeito significativo da aplicação dos produtos superficialmente em todas as profundidades, nas três épocas de amostragens (Tabela 12).

Como esperado, a aplicação exclusiva de silicato, que apresenta na sua composição 23% de Si na forma de SiO_2 , proporcionou maiores teores de silício. Observou-se valores altos de Si em todo o perfil do solo. Vale ressaltar que também houve aumento dos teores de silício nos tratamentos onde utilizou-se calcário.

Segundo Camargo et al. (2007) a solubilidade e disponibilidade de silício podem ser influenciadas pela reação do solo. Assim como observado neste trabalho, Dalto et al. (2003) também verificaram elevação nos teores de silício tanto em superfície como em profundidade com a aplicação de doses de calcário.

Além disso, analisando o contraste constatou-se que a mistura de gesso aos corretivos proporcionou maiores valores de Si.

Avaliando a correção da acidez do perfil do solo proporcionada pelo carbonato e silicato de cálcio, Nolla e Korndörfer (2007) verificaram após 12 meses, que com a aplicação de silicato, houve aumento no teor de Si no solo de até 1,3 vezes nas camadas mais profundas de solo. Nos tratamentos onde foi aplicado carbonato o incremento de Si no solo foi de até 1,8 vezes na camada superficial, provavelmente porque com o aumento do pH houve diminuição na concentração de Al em solução, e desta forma redução na adsorção de Si aos colóides do solo (PEREIRA et al., 2002).

Tabela 11. Valores de saturação por bases (%) no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	V (%)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	43,8 d	41,5 bc	44,0 c	39,3 f
Gesso	52,5 c	39,8 c	51,0 ab	49,0 bcd
Calcário	66,8 b	45,8 abc	46,0 bc	43,5 ef
Silicato	67,5 b	50,0 a	49,0 bc	47,8 cde
Calcário + Silicato	68,8 ab	48,3 ab	48,5 bc	46,8 de
Calcário + Gesso	69,5 ab	52,5 a	51,0 ab	52,5 abc
Silicato + Gesso	72,5 a	51,0 a	56,5 a	54,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	68,8 ab	50,0 a	51,3 ab	53,0 ab
DMS	4,03	7,17	6,11	4,98
Contraste (SG x CG)¹	***	ns	***	***
CV (%)	2,97	7,12	5,78	4,85
----- 12 meses -----				
Testemunha	43,8 d	35,5 c	41,0 c	39,8 c
Gesso	44,5 d	36,3 c	43,3 bc	42,3 c
Calcário	58,5 c	45,3 ab	45,8 b	43,8 c
Silicato	57,3 c	42,8 b	46,5 b	45,0 bc
Calcário + Silicato	59,0 bc	44,5 ab	46,5 b	44,8 bc
Calcário + Gesso	63,0 ab	48,8 a	55,0 a	49,8 ab
Silicato + Gesso	67,0 a	49,0 a	57,0 a	53,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	66,5 a	48,5 a	55,8 a	50,8 a
DMS	4,34	5,14	4,62	5,61
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	3,55	5,52	4,44	5,72
----- 18 meses -----				
Testemunha	36,8 b	32,0 c	33,0 e	32,3 c
Gesso	39,5 b	34,0 c	37,0 de	36,3 bc
Calcário	57,8 a	47,3 ab	41,0 cd	42,8 ab
Silicato	57,5 a	44,0 b	41,0 cd	42,3 ab
Calcário + Silicato	57,3 a	45,0 ab	43,0 bc	40,5 ab
Calcário + Gesso	63,0 a	47,5 ab	47,8 ab	44,0 a
Silicato + Gesso	61,0 a	48,3 ab	46,5 ab	45,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	61,5 a	49,8 a	48,3 a	46,3 a
DMS	5,92	5,69	4,77	7,62
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	**
CV (%)	5,13	6,15	5,31	8,69

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Tabela 12. Teores de silício no solo em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola no sistema plantio direto em três épocas de amostragem após a aplicação (6, 12 e 18 meses).

Tratamentos	Si (mg dm ⁻³)			
	0-0,05 m	0,05-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
----- 6 meses -----				
Testemunha	3,9 f	4,5 e	4,4 e	4,2 e
Gesso	6,3 e	5,0 de	4,6 de	4,4 de
Calcário	6,7 de	5,5 d	5,3 c	5,6 cd
Silicato	9,5 a	11,4 a	11,3 a	10,7 a
Calcário + Silicato	7,7 c	6,4 c	5,8 c	6,2 c
Calcário + Gesso	6,5 de	5,2 de	5,2 cd	4,6 de
Silicato + Gesso	9,0 b	7,6 b	7,4 b	8,5 b
Calcário + Silicato + Gesso	6,9 d	5,7 cd	5,6 c	5,9 c
DMS	0,47	0,88	0,65	1,24
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	3,12	6,46	4,91	9,30
----- 12 meses -----				
Testemunha	5,5 f	5,7 d	5,1 d	4,5 e
Gesso	6,1 ef	5,7 d	6,0 cd	4,7 de
Calcário	6,9 de	6,7 bc	6,3 c	5,5 cd
Silicato	12,5 a	11,9 a	11,9 a	9,0 a
Calcário + Silicato	8,1 bc	7,0 bc	6,8 bc	6,2 bc
Calcário + Gesso	6,8 de	6,6 c	6,2 c	5,4 cde
Silicato + Gesso	8,6 b	7,5 b	7,43 b	7,0 b
Calcário + Silicato + Gesso	7,2 cd	6,7 bc	6,5 bc	6,0 c
DMS	0,91	0,75	1,04	0,94
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	5,53	4,90	6,96	7,31
----- 18 meses -----				
Testemunha	5,7 d	5,3 d	5,3 f	5,1 e
Gesso	5,9 d	5,4 d	5,4 ef	5,2 e
Calcário	7,0 c	5,7 cd	6,0 cde	5,7 cde
Silicato	10,8 a	10,5 a	9,2 a	9,5 a
Calcário + Silicato	8,7 b	8,2 b	6,6 c	6,3 c
Calcário + Gesso	6,5 cd	5,6 cd	5,7 def	5,4 de
Silicato + Gesso	9,2 b	8,5 b	8,5 b	8,2 b
Calcário + Silicato + Gesso	7,4 c	6,5 c	6,2 cd	6,0 cd
DMS	0,93	0,96	0,64	0,68
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***	***
CV (%)	5,71	6,51	4,54	5,03

Médias seguidas de mesma letra na coluna, para cada época de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

6.2 Características da cultura do arroz (verão 2003/2004 e 2004/2005)

6.2.1 Diagnose foliar e teor de silício

Considerando a média dos dois anos de cultivo de arroz, verificou-se efeito significativo da aplicação superficial dos produtos para os teores de nitrogênio e enxofre nas folhas. Os teores foliares de fósforo, potássio, cálcio e magnésio não foram influenciados pelos tratamentos. Esses resultados corroboram os de Lopes et al. (1995) e Wielewicki et al. (1998) que não observaram efeito da calagem nos teores de P, K, Ca e Mg, no entanto, Soratto (2005) constatou efeito da calagem superficial na implantação do sistema plantio direto apenas para os teores foliares de Ca e Mg em arroz, sendo que com o aumento das doses de calcário houve aumento linear dos teores destes nutrientes.

Pela Tabela 13, constatou-se que a utilização da mistura calcário + silicato (CS) proporcionou valores de N estatisticamente iguais à aplicação exclusiva de calcário e à mistura SG. No entanto, observou-se que a mistura SG promoveu uma maior absorção de nitrogênio pelas plantas, em relação à testemunha, assim como observado por Duarte et al. (1999) onde a calagem aumentou os teores de N na parte aérea de arroz. Já Soratto (2005) com a realização de calagem e gessagem na implantação do sistema plantio direto observou apenas diferença na absorção de N entre cultivares de arroz, e ambos apresentaram teores na faixa considerada adequada.

De acordo com a análise de contraste verificou-se, pela média dos dois anos de cultivo, que a associação de gesso aos corretivos propiciou maior absorção de N pelas plantas, ou seja, o maior efeito nos tratamentos foi a presença de gesso.

Tabela 13. Teores de nitrogênio, fósforo e potássio na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	Nitrogênio		
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	33,5 a	28,8 b	31,1 c
Gesso	33,5 a	29,8 ab	31,6 bc
Calcário	34,3 a	29,8 ab	32,0 bc
Silicato	35,3 a	30,5 ab	32,9 ab
Calcário + Silicato	34,5 a	30,5 ab	32,5 abc
Calcário + Gesso	34,3 a	30,8 ab	32,5 abc
Silicato + Gesso	35,8 a	32,5 a	34,1 a
Calcário + Silicato + Gesso	35,3 a	31,3 ab	33,3 ab
DMS	2,79	2,86	1,71
Contraste (SG x CG)¹	ns	**	**
CV (%)	3,80	4,41	2,48
Fósforo			
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	1,8 a	1,9 a	1,8 a
Gesso	1,8 a	1,9 a	1,9 a
Calcário	1,8 a	2,0 a	1,9 a
Silicato	1,9 a	2,0 a	1,9 a
Calcário + Silicato	1,9 a	2,0 a	1,9 a
Calcário + Gesso	1,8 a	2,0 a	1,9 a
Silicato + Gesso	1,9 a	2,0 a	1,9 a
Calcário + Silicato + Gesso	1,9 a	2,0 a	1,9 a
DMS	0,11	0,20	0,11
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	2,87	4,69	2,84
Potássio			
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	15,5 a	17,8 a	16,6 a
Gesso	15,8 a	17,3 ab	16,5 a
Calcário	16,0 a	17,3 ab	16,6 a
Silicato	15,0 a	16,8 ab	15,9 a
Calcário + Silicato	15,0 a	17,0 ab	16,0 a
Calcário + Gesso	14,3 a	16,8 ab	15,5 a
Silicato + Gesso	14,3 a	15,5 b	14,9 a
Calcário + Silicato + Gesso	14,0 a	16,8 ab	15,4 a
DMS	3,34	1,75	2,02
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	10,48	4,88	5,95

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

A adição de gesso agrícola aos corretivos incrementou de forma significativa o teor de enxofre na folha bandeira (Tabela 14), já que este produto é fonte do elemento e esses tratamentos foram os que proporcionaram os maiores teores do elemento no perfil do solo e em todas as amostragens (Tabela 6), assim como pode ser observado pela análise de contraste. Não houve diferença nos teores de enxofre na folha entre a aplicação isolada de silicato e calcário, nem da mistura de ambos. Estes resultados corroboram os de Soratto (2005) que observou, com a aplicação de gesso, maior teor de enxofre na folha bandeira dos cultivares de arroz estudados. Em folhas de cevada e trigo, Caires et al. (2001, 2002) também verificaram aumento no teor de S, em função da elevação dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo proporcionado pela aplicação de gesso.

Pelo aumento considerável dos teores de Ca e Mg e da redução dos de K no solo proporcionado por alguns tratamentos (Tabelas 8, 9 e 10), esperava-se algum efeito na diagnose foliar desses nutrientes (Tabelas 14 e 15). A ausência de efeito pode ser decorrente de ajustes de diluição/concentração, com reflexo diretamente no crescimento/desenvolvimento da cultura. Vale ressaltar que os teores de macronutrientes obtidos na folha bandeira do arroz encontram-se na faixa considerada adequada (CANTARELLA et al., 1997).

Os teores de silício (Tabela 15) na folha bandeira (média dos anos) foram maiores quando aplicado exclusivamente silicato em superfície, ou seja, a dose total de $2,2 \text{ t ha}^{-1}$. No entanto, todas as misturas que continham silicato proporcionaram os valores mais elevados em relação aos demais tratamentos, decorrentes, provavelmente, dos teores do solo (Tabela 12).

Analisando o contraste constatou-se, pela média dos dois anos de cultivo, que a mistura de gesso aos corretivos propiciou maior teor de Si na folha bandeira do arroz.

A concentração de silício em tecidos das plantas tem sido usada para indicar a presença e extensão da deficiência de silício e para desenvolver métodos para a fertilização com silício (ELAWAD e GREEN, 1979).

Tabela 14. Teores de cálcio, magnésio e enxofre na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	Cálcio		
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	4,3 a	4,9 a	4,6 a
Gesso	4,3 a	4,9 a	4,6 a
Calcário	4,3 a	5,0 a	4,7 a
Silicato	4,5 a	5,2 a	4,9 a
Calcário + Silicato	4,4 a	5,1 a	4,8 a
Calcário + Gesso	4,6 a	5,2 a	4,9 a
Silicato + Gesso	4,6 a	5,3 a	4,9 a
Calcário + Silicato + Gesso	4,6 a	5,3 a	5,0 a
DMS	1,19	0,83	0,63
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	12,61	7,69	6,23
Magnésio			
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	1,7 a	1,8 a	1,8 a
Gesso	1,6 a	1,9 a	1,8 a
Calcário	1,6 a	2,0 a	1,8 a
Silicato	1,7 a	2,0 a	1,9 a
Calcário + Silicato	1,7 a	2,0 a	1,9 a
Calcário + Gesso	1,6 a	1,9 a	1,8 a
Silicato + Gesso	1,7 a	2,0 a	1,9 a
Calcário + Silicato + Gesso	1,7 a	2,0 a	1,8 a
DMS	0,27	0,34	0,17
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	7,83	8,30	4,43
Enxofre			
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	2,9 abc	2,7 b	2,8 c
Gesso	3,6 a	3,3 a	3,5 a
Calcário	2,9 abc	2,9 ab	2,9 bc
Silicato	2,5 c	2,8 ab	2,7 c
Calcário + Silicato	2,6 bc	2,9 ab	2,8 c
Calcário + Gesso	3,4 ab	3,3 a	3,4 ab
Silicato + Gesso	3,6 a	3,3 a	3,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	3,5 a	3,3 a	3,5 a
DMS	0,79	0,52	0,48
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	11,99	8,02	7,18

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Há evidências de que o silício seja absorvido em grandes quantidades pelo arroz podendo ser várias vezes maior que os macronutrientes essenciais com N, P, K, Ca, Mg e S. Para se ter uma idéia da quantidade deste elemento que o arroz pode absorver, na literatura é citado que, para uma produção de 5 t ha⁻¹ de grãos, em média, o arroz remove do solo cerca de 230 a 470 kg ha⁻¹ de silício, ou o equivalente a 500 a 1.000 kg ha⁻¹ de SiO₂ (BARBOSA FILHO e PRABHU, 2002).

Segundo Korndörfer et al. (2005), aumentos na disponibilidade de Si no solo (Tabela 13) são normalmente acompanhados por acréscimo da concentração desse elemento nas plantas, com resultados positivos no crescimento e na produtividade de diversas gramíneas, especialmente arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, braquiária, aveia, trigo e milho, e algumas espécies não-acumuladoras como soja, feijão, tomate, morango e pepino.

Tabela 15. Teor de silício na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	Silício g kg ⁻¹		
Testemunha	17,3 c	20,0 d	18,8 d
Gesso	17,3 c	20,0 d	18,8 d
Calcário	18,3 c	22,0 cd	20,3 cd
Silicato	25,0 a	31,3 a	28,5 a
Calcário + Silicato	23,0 ab	23,5 bc	23,8 b
Calcário + Gesso	18,0 c	23,3 bc	21,0 cd
Silicato + Gesso	19,5 bc	24,8 b	22,3 bc
Calcário + Silicato + Gesso	18,3 c	23,8 bc	21,5 bc
DMS	4,06	2,36	2,41
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	9,75	4,71	5,18

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Analisando os teores de micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn), na média dos dois anos (Tabela 16 e 17), observou-se efeito significativo dos tratamentos nos teores de zinco e manganês. Sumner et al. (1978) ressaltam que a calagem reduz a disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn.

Desta forma, a aplicação de calcário, e das misturas SG e CSG proporcionou teores significativamente menores de zinco em relação à testemunha (Tabela 16). O mesmo comportamento foi constatado em relação ao teor foliar de manganês (Tabela 17), onde a aplicação isolada de silicato proporcionou menor valor. Contudo, os tratamentos CG, SG e CSG, também proporcionaram teores significativamente inferiores à testemunha.

Soratto (2005) verificou efeito da aplicação superficial de doses de calcário em plantio direto apenas para os teores de Mn, com os resultados ajustando-se a uma função quadrática. O autor observou ainda que a calagem não promoveu diminuição na disponibilidade dos micronutrientes no solo (Cu, Fe, Mn e Zn). Duarte et al. (1999) não verificaram efeito da calagem nos teores de Cu e Zn em cultivares de arroz de terras altas.

Os teores de micronutrientes obtidos na folha bandeira do arroz encontram-se na faixa considerada adequada segundo Cantarella et al. (1997).

Tabela 16. Teores de zinco e cobre na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	Zinco		
----- mg kg ⁻¹ -----			
Testemunha	25,5 a	24,0 a	24,8 a
Gesso	23,5 ab	23,5 a	23,5 ab
Calcário	23,0 ab	19,0 b	21,0 b
Silicato	23,0 ab	20,5 ab	21,8 ab
Calcário + Silicato	23,0 ab	21,8 ab	22,5 ab
Calcário + Gesso	21,0 ab	22,0 ab	21,5 ab
Silicato + Gesso	19,5 b	23,0 a	21,3 b
Calcário + Silicato + Gesso	19,5 b	22,0 ab	20,8 b
DMS	5,11	3,90	3,45
Contraste (SG x CG)¹	***	*	ns
CV (%)	10,79	8,35	7,33
Cobre			
----- mg kg ⁻¹ -----			
Testemunha	9,5 a	8,5 a	9,0 a
Gesso	9,0 ab	8,5 a	8,8 a
Calcário	9,0 ab	6,5 b	7,8 a
Silicato	7,5 abc	7,0 ab	7,3 a
Calcário + Silicato	9,0 ab	8,0 ab	8,5 a
Calcário+Gesso	7,5 abc	8,0 ab	7,8 a
Silicato + Gesso	6,8 bc	8,0 ab	7,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	6,0 c	8,5 a	7,3 a
DMS	2,73	2,00	1,81
Contraste (SG x CG)¹	***	**	ns
CV (%)	16,00	11,92	10,66

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Tabela 17. Teores de ferro e manganês na folha bandeira de arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto¹. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	Ferro		
	----- mg kg ⁻¹ -----		
Testemunha	67,0 a	112,5 a	89,8 a
Gesso	66,3 a	104,3 ab	85,5 a
Calcário	65,0 a	76,0 c	70,5 a
Silicato	62,0 a	83,0 bc	72,5 a
Calcário + Silicato	62,0 a	77,0 c	69,5 a
Calcário + Gesso	58,0 a	95,0 abc	76,5 a
Silicato + Gesso	55,0 a	91,8 abc	73,5 a
Calcário + Silicato + Gesso	56,0 a	94,3 abc	75,3 a
DMS	30,49	25,38	23,24
Contraste (SG x CG)¹	ns	**	ns
CV (%)	23,34	13,01	14,26
Manganês			
	----- mg kg ⁻¹ -----		
Testemunha	143,5 a	137,8 a	140,8 a
Gesso	142,0 a	133,8 a	138,0 ab
Calcário	139,5 ab	104,8 ab	122,3 abc
Silicato	117,5 bcd	77,0 b	97,3 d
Calcário + Silicato	138,0 abc	103,5 ab	120,8 abc
Calcário + Gesso	114,0 d	114,3 ab	114,3 cd
Silicato + Gesso	89,5 e	119,0 a	104,3 cd
Calcário + Silicato + Gesso	116,0 cd	119,5 a	117,8 bcd
DMS	23,02	37,39	22,90
Contraste (SG x CG)¹	***	**	ns
CV (%)	8,66	15,46	9,01

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

6.2.2 Componentes da produção e produtividade de grãos

A aplicação superficial de corretivos e gesso agrícola influenciou o número de panículas por m^2 (Tabela 18) e, analisando a média dos anos agrícolas, observou-se que a utilização da mistura silicato + gesso propiciou maior número de panículas por m^2 em relação à testemunha. No entanto, esse tratamento não diferiu estatisticamente dos demais que continham o silicato nas misturas, ficando nitidamente claro algum efeito do silício no aumento do número de panículas por m^2 .

Entretanto, pouco se conhece sobre a influência deste elemento no número de panículas por m^2 , e segundo Ma et al. (1989), o silício tem pouco efeito na fase vegetativa. Sabe-se que este componente é definido no período compreendido entre a germinação até dez dias após a diferenciação do primórdio da panícula (FORNASIERI FILHO e FORNASIERI, 1993), ou seja, a maior parte da definição desse componente ocorre na fase vegetativa e apenas 10 dias na fase reprodutiva. O número de panículas por m^2 é influenciado por fatores como a densidade de semeadura, o poder germinativo da semente e a capacidade de perfilhamento da cultivar, portanto, é dependente de fatores genéticos e ambientais. Os resultados encontrados na literatura são contraditórios, enquanto Takahashi (1995) observou aumento no número de panícula por m^2 ; Ma et al. (1989), Deren et al. (1994), Carvalho (2000), Mauad et al. (2003), Alvarez (2004) e Mauad (2006), não obtiveram aumentos significativos.

Por outro lado, Soratto (2005) observou efeito da gessagem no número de panícula m^{-2} de dois cultivares de arroz, com aumento no cultivar Caiapó e redução no IAC 202, e segundo o autor, este efeito provavelmente é resultado do maior crescimento radicular proporcionado pela aplicação de gesso, que deve ter possibilitado maior absorção de água nos períodos de deficiência hídrica que ocorreram na fase reprodutiva. Constatou também que a calagem, sem e com gesso, promoveu resposta quadrática no número de panículas m^{-2} , sendo que, nos tratamentos que não receberam gesso, a aplicação de calcário proporcionou incrementos no número de panículas m^{-2} até a dose máxima estimada de 1.860 kg ha^{-1} e nos tratamentos que receberam gesso, a dose estimada de 2.380 kg ha^{-1} foi a que proporcionou o maior número de panículas m^{-2} .

Tabela 18. Número de panículas por m², número total de espiguetas por panícula e fertilidade de espiguetas do arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	panículas por m ²		
	n ^o		
Testemunha	185 c	197 b	191 d
Gesso	193 bc	202 ab	198 cd
Calcário	197 abc	203 ab	200 cd
Silicato	222 ab	224 a	223 ab
Calcário + Silicato	212 abc	211 ab	212 abc
Calcário + Gesso	202 abc	208 ab	205 bcd
Silicato+Gesso	223 a	227 a	225 a
Calcário + Silicato + Gesso	213 abc	212 ab	213 abc
DMS	29,30	25,50	18,04
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	6,00	5,70	4,07
	Total de espiguetas por panícula		
	n ^o		
Testemunha	149 a	199 a	174 a
Gesso	155 a	204 a	179 a
Calcário	157 a	205 a	181 a
Silicato	161 a	215 a	188 a
Calcário + Silicato	159 a	206 a	183 a
Calcário + Gesso	159 a	206 a	182 a
Silicato + Gesso	161 a	221 a	191 a
Calcário + Silicato + Gesso	160 a	210 a	185 a
DMS	42,10	37,8	28,15
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	11,30	8,53	7,23
	Fertilidade de espiguetas		
	%		
Testemunha	77,2 a	81,6 a	79,4 a
Gesso	75,5 a	83,3 a	79,4 a
Calcário	82,7 a	80,9 a	81,8 a
Silicato	79,2 a	82,5 a	80,8 a
Calcário + Silicato	79,4 a	80,9 a	80,2 a
Calcário + Gesso	77,9 a	83,2 a	80,5 a
Silicato + Gesso	78,8 a	86,5 a	82,7 a
Calcário + Silicato + Gesso	77,8 a	82,8 a	80,3 a
DMS	9,08	7,26	4,66
Contraste (SG x CG)¹	ns	*	ns
CV (%)	4,88	4,12	2,72

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Com relação ao número total de espiguetas por panícula, fertilidade de espiguetas (Tabela 18) e massa de 1000 grãos (Tabela 19) não houve efeito significativo dos tratamentos. No entanto, de acordo com os resultados de Soratto (2005), a calagem aumentou de forma quadrática, o número total de espiguetas por panícula apenas na ausência de gesso. Para fertilidade das espiguetas, não houve efeito das doses de calcário, apenas dos cultivares estudados. Para massa de 1.000 grãos, o autor observou efeito significativo da interação calagem x cultivar.

A produtividade de grãos (Tabela 19) foi incrementada, significativamente em relação à testemunha, pela aplicação dos corretivos e das misturas (CS, CG, SG e CSG) em superfície, onde o tratamento SG proporcionou maior produtividade (4.362 kg ha^{-1}), conforme resultados da média dos anos agrícolas. Pode-se observar ainda que as misturas CS e CSG proporcionaram resultados semelhantes ao efeito isolado de cada corretivo.

Além disso, observando os dados do contraste verificou-se que a mistura de gesso agrícola aos corretivos proporcionou aumento de produtividade, ou seja, o maior efeito nos tratamentos foi devido a presença de gesso.

Fageria et al. (1997, 1999) e Fageria (2001) relatam que a produção de arroz não foi influenciada por doses de calcário, por ser uma cultura considerada bastante tolerante à acidez do solo, em comparação com outras, como o feijão, milho, soja e trigo. No entanto, mesmo sendo adaptado às condições de acidez do solo, os cultivares de arroz diferem em suas respostas ao estresse de alumínio e à calagem (FAGERIA, 1982; FERREIRA et al., 1986).

Por outro lado, Soratto (2005) observou efeito da calagem e gessagem superficiais no SPD na produtividade de grãos de arroz. Constatou-se que sem e com aplicação de gesso, o aumento das doses de calcário proporcionou incremento linear na produtividade de grãos, entretanto, estes foram maiores nos tratamentos com aplicação de gesso.

Em arroz, por exemplo, postula-se a essencialidade agronômica do Si, em vista dos diversos benefícios advindos com a nutrição deste elemento. Estes benefícios incluem o aumento no crescimento e na produção, interações positivas com fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumento na resistência a estresses bióticos (doenças e

pragas) e abióticos (seca, salinidade, acamamento) e aumento na produtividade em solos problemáticos, como os solos orgânicos e solos ácidos com níveis tóxicos de Al, Fe e Mn (SAVANT et al., 1997b).

O uso do Si tem promovido melhoria na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994), resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989).

Aumentos de produtividade de grãos do arroz atribuídos ao efeito do silício foram observados por Deren et al. (1994), Liang et al. (1994), Korndorfer et al. (1999) e Faria (2000). No entanto, Mauad et al. (2003) e Carvalho-Pupatto et al. (2003) não obtiveram resposta em produtividade com aplicação de silício.

Tabela 19. Valores médios de massa de 1000 grãos e produtividade de grãos obtidos em arroz de terras altas em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2003/04 e 2004/05.

Tratamentos	2003/04	2004/05	Média
	Massa de 1000 grãos		
	g		
Testemunha	22,80 a	23,75 a	23,25 a
Gesso	23,00 a	24,00 a	23,50 a
Calcário	23,00 a	24,50 a	23,75 a
Silicato	23,50 a	24,75 a	24,13 a
Calcário + Silicato	23,25 a	24,50 a	23,88 a
Calcário + Gesso	23,25 a	24,50 a	23,88 a
Silicato + Gesso	23,75 a	24,75 a	24,25 a
Calcário + Silicato + Gesso	23,25 a	24,75 a	24,00 a
DMS	2,28	2,12	1,18
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	4,14	4,08	2,33
	Produtividade de grãos		
	kg ha ⁻¹		
Testemunha	3.052 c	3.341 c	3.197 e
Gesso	3.178 c	3.790 bc	3.484 de
Calcário	3.178 c	4.004 b	3.591 cd
Silicato	3.921 ab	4.281 ab	4.101 ab
Calcário + Silicato	3.654 ab	4.163 b	3.909 bc
Calcário + Gesso	3.492 bc	4.109 b	3.801 bcd
Silicato + Gesso	3.980 a	4.744 a	4.362 a
Calcário + Silicato + Gesso	3.748 ab	4.166 b	3.957 bc
DMS	442,8	545,14	385,13
Contraste (SG x CG)¹	**	***	***
CV (%)	5,29	6,29	4,76

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

6.3 Características da cultura do feijão (inverno 2004 e 2005)

6.3.1 Diagnose foliar e teor de silício

Constatou-se efeito significativo dos tratamentos para o teor foliar de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Não houve variação significativa no teor foliar de nitrogênio, e os valores estão na faixa considerada adequada para o feijão, ou seja, entre 30-50 g kg⁻¹ (AMBROSANO et al., 1997).

Na média dos dois anos, pode-se constatar que não houve diferença estatística entre a aplicação exclusiva de silicato e sua mistura com gesso agrícola quanto aos teores de P (Tabela 20). Os tratamentos que continham silicato proporcionaram os maiores valores de P. No entanto, observa-se que a mistura SG não apresentou diferença estatística em relação aos demais tratamentos. Pulz et al. (2008) também constataram maiores teores de P nas folhas de batata onde foi aplicado silicato em relação ao calcário, em decorrência do maior teor do elemento no solo proporcionado pelo silicato. No presente trabalho não foi realizada a análise de P, mas os autores supracitados, mediante revisão de literatura, explicaram que o aumento no teor de P no solo é decorrente da desorção de P promovida pela presença de Si solúvel, aumentando sua disponibilidade e, conseqüentemente, a absorção do elemento pelas plantas, no caso pela batateira. Os ânions de silicatos exercem competição com o P pelos mesmos sítios de adsorção. Esses sítios de P são saturados ou bloqueados pelo ânion silicato, aumentando a eficiência da adubação fosfatada.

Soratto (2005) também não observou influência da aplicação de calcário e gesso em superfície nos teores de fósforo, no entanto, os teores se encontravam na faixa adequada.

Os teores foliares de fósforo encontrados no feijoeiro estão acima da faixa considerada adequada por Ambrosano et al. (1997), ou seja, 2,5 – 4,0 g kg⁻¹.

Quanto aos teores de potássio (Tabela 20), houve redução na absorção pelas plantas de feijão com a aplicação dos produtos. Analisando a média dos anos, o menor valor foi proporcionado pela aplicação das misturas SG e CSG, mas não foram diferentes estatisticamente dos demais produtos, somente em relação à testemunha. Esse resultado é decorrente da redução da disponibilidade de K proporcionada pela aplicação dos produtos

(Tabela 8) e da elevação dos teores, principalmente, de Ca (Tabela 9), afetando a absorção de potássio pelo processo de inibição competitiva.

Analisando o contraste observou-se que a mistura de gesso aos corretivos proporcionou redução da absorção de K pelo feijoeiro, na média dos dois anos de cultivo.

Resultados obtidos por Soratto (2005) demonstraram que não houve efeito da aplicação de gesso sobre os teores de K nas folhas do feijoeiro, entretanto, a aplicação de calcário em superfície proporcionou resposta quadrática para o teor foliar de K.

Os valores encontrados estão na faixa considerada ideal para o feijão, que situa-se entre 20-24 g kg⁻¹ (AMBROSANO et al., 1997), com exceção da testemunha (26,8 g kg⁻¹).

Tanto a aplicação de silicato e calcário como a mistura dos corretivos e gesso agrícola proporcionaram um fornecimento adequado de cálcio (Tabela 21) às plantas de feijão (AMBROSANO et al., 1997), fato constatado pelos teores similares encontrados entre os tratamentos, sendo diferente apenas onde as características originais do solo foram mantidas (testemunha) que apresentou menor valor, na média dos anos. A aplicação das misturas contendo gesso agrícola proporcionou os maiores valores de Ca nas folhas em decorrência dos resultados obtidos nas análises de solo (Tabela 9), assim como pode ser observado pela análise do contraste.

Aumento nos teores foliares de Ca também foi observado por Soratto (2005) em função apenas da aplicação superficial de gesso, a calagem não afetou o teor deste nutriente nas folhas do feijoeiro.

Com relação ao teor de magnésio (Tabela 21), a aplicação isolada de calcário foi a que promoveu maior teor foliar, mas este não foi diferente estatisticamente do valor encontrado pela aplicação de silicato, e pela mistura de corretivos (CS). Pode-se observar ainda, pela análise do contraste, que a adição de gesso aos corretivos proporcionou maior teor foliar de Mg.

Segundo resultados de Soratto (2005), os teores de Mg nas folhas do feijoeiro sofreram efeito da aplicação de gesso e da interação calcário x gesso. O autor constatou que na ausência de gesso, não houve efeito da calagem sobre a absorção de Mg pelo feijoeiro. Porém, nos tratamento que receberam gesso, as doses de calcário promoveram

aumento nos teores de Mg nas folhas. Desta forma, observou que a ausência de gesso prejudicou a absorção de Mg pela cultura, ou com a aplicação das menores doses de calcário dolomítico em superfície, provavelmente em decorrência da lixiviação do elemento no perfil do solo, ou pelo fato da aplicação de gesso ter elevado muito a relação Ca/Mg no solo, nesses tratamentos.

A elevação nos teores foliares de Ca e Mg nas plantas foi consequência do aumento nos teores trocáveis destes elementos no solo, ocasionado pela aplicação de corretivos e gesso agrícola (Ca).

Para o teor de enxofre (Tabela 21), nota-se pela média dos anos, que o gesso agrícola incrementou de forma significativa o teor nas folhas do feijoeiro, o que pode ser visualizado pela análise de contraste. A mistura CSG não diferiu estatisticamente dos tratamentos CG e SG.

Os resultados observados concordam com os obtidos por Soratto (2005) que além do efeito do gesso, observou também influência da calagem nos teores de S nas folhas de feijão, onde na ausência da aplicação de gesso, a calagem promoveu aumento nos teores de S nas folhas do feijoeiro. O requerimento de S pelas plantas, segundo o autor, pode ser suprido, em parte, pela mineralização da matéria orgânica, e nesse caso, a calagem pode acelerar o processo de mineralização, em consequência da elevação do pH (CAIRES e FONSECA, 2000; ROSOLEM et al., 2003)

Tabela 20. Teores de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	Nitrogênio		
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	48,3 a	48,0 a	48,3 a
Gesso	48,5 a	47,8 a	48,3 a
Calcário	50,3 a	48,5 a	49,8 a
Silicato	49,5 a	48,8 a	49,3 a
Calcário + Silicato	49,8 a	49,0 a	49,5 a
Calcário + Gesso	50,3 a	50,5 a	50,8 a
Silicato + Gesso	50,0 a	49,5 a	50,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	50,0 a	49,8 a	50,0 a
DMS	4,52	5,22	3,05
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	4,29	5,02	2,90
Fósforo			
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	3,1 b	3,5 b	3,3 d
Gesso	3,3 b	5,1 a	4,2 c
Calcário	4,3 ab	5,5 a	4,9 bc
Silicato	5,7 a	6,2 a	6,0 a
Calcário + Silicato	4,5 ab	5,7 a	5,1 b
Calcário + Gesso	4,4 ab	5,1 a	4,8 bc
Silicato + Gesso	5,0 a	5,6 a	5,3 ab
Calcário + Silicato + Gesso	4,5 ab	5,5 a	5,0 bc
DMS	1,50	1,46	0,83
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	16,25	13,00	8,07
Potássio			
----- g kg ⁻¹ -----			
Testemunha	25,8 a	27,0 a	26,8 a
Gesso	25,3 ab	25,3 a	25,3 ab
Calcário	23,8 ab	25,0 a	24,8 abc
Silicato	22,5 ab	24,3 a	23,5 abc
Calcário + Silicato	23,0 ab	24,3 a	24,0 abc
Calcário + Gesso	22,3 ab	24,5 a	23,5 abc
Silicato + Gesso	21,0 b	22,0 a	21,8 c
Calcário + Silicato + Gesso	21,5 ab	23,3 a	22,8 bc
DMS	4,43	5,14	3,46
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	**
CV (%)	9,01	9,89	6,76

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Tabela 21. Teores de cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	Cálcio		
----- g kg⁻¹ -----			
Testemunha	14,3 b	13,3 c	14,0 c
Gesso	15,5 ab	16,8 b	16,5 b
Calcário	16,3 ab	19,8 ab	18,5 ab
Silicato	16,5 ab	20,5 a	18,8 ab
Calcário + Silicato	15,5 ab	20,3 a	18,3 ab
Calcário + Gesso	18,0 ab	21,3 a	20,0 a
Silicato + Gesso	18,8 a	21,5 a	20,3 a
Calcário + Silicato + Gesso	17,8 ab	21,3 a	19,8 a
DMS	3,94	3,16	2,46
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	11,17	7,69	6,33
Magnésio			
----- g kg⁻¹ -----			
Testemunha	4,8 a	4,3 b	4,5 b
Gesso	4,8 a	4,6 b	4,7 b
Calcário	6,5 a	5,7 a	6,0 a
Silicato	5,3 a	4,9 ab	5,2 ab
Calcário + Silicato	5,3 a	5,2 ab	5,3 ab
Calcário + Gesso	5,5 a	4,9 ab	5,0 b
Silicato + Gesso	5,0 a	4,6 b	4,8 b
Calcário + Silicato + Gesso	5,0 a	4,8 ab	5,0 b
DMS	1,78	0,92	0,89
Contraste (SG x CG)¹	ns	*	**
CV (%)	15,96	8,94	8,27
Enxofre			
----- g kg⁻¹ -----			
Testemunha	1,3 b	1,8 d	1,6 d
Gesso	1,6 ab	2,1 abc	1,9 ab
Calcário	1,3 b	2,0 bcd	1,7 cd
Silicato	1,4 bc	2,1 abcd	1,8 bc
Calcário + Silicato	1,3 b	1,8 cd	1,6 d
Calcário + Gesso	1,6 ab	2,4 a	2,0 a
Silicato + Gesso	1,7 a	2,4 a	2,0 a
Calcário + Silicato + Gesso	1,7 a	2,2 ab	2,0 a
DMS	0,22	0,33	0,19
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	7,06	7,52	4,98

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

O resultado do teor de silício (Tabela 22), na média dos anos, foi maior quando da aplicação isolada de silicato, em relação aos demais tratamentos. Mesmo não sendo considerada planta acumuladora de Si, o feijoeiro é capaz de absorver o elemento, embora os valores encontrados sejam inferiores aos observados para a cultura do arroz (Tabela 17). Todos os tratamentos proporcionaram valores superiores à testemunha, em decorrência dos valores de solo (Tabela 13).

Tabela 22. Teor de silício nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto, Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	Silício g kg ⁻¹		
Testemunha	2,6 e	4,3 c	3,5 f
Gesso	3,4 d	4,6 c	4,0 e
Calcário	3,5 d	5,4 b	4,4 d
Silicato	7,3 a	6,2 a	6,8 a
Calcário + Silicato	5,1 bc	5,6 b	5,4 bc
Calcário + Gesso	3,5 d	5,3 b	4,4 d
Silicato + Gesso	5,2 b	5,7 b	5,5 b
Calcário + Silicato + Gesso	4,5 c	5,5 b	5,0 c
DMS	0,62	0,47	0,35
Contraste (SG x CG)¹	***	ns	ns
CV (%)	6,64	4,12	3,34

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Nota-se pela média dos anos, comportamento semelhante da aplicação dos produtos para os micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn, com redução dos teores foliares, em relação à testemunha (Tabela 23 e 24). Os menores valores, para todos os micronutrientes, foram constatados com a aplicação das misturas SG e CSG.

Observou-se pela análise de contraste que a mistura de gesso aos corretivos promoveu redução nos teores foliares de Zn, Cu, Fe e Mn, ou seja, os maiores efeitos nos tratamentos foram devido à presença de gesso.

Soratto (2005) não verificou efeito da aplicação superficial de calcário e gesso na implantação do sistema plantio direto nos teores foliares de micronutrientes. Mas sim, da interação entre calagem e gessagem, para os teores foliares de Zn, onde, na ausência

da calagem a aplicação de gesso proporcionou maior teor do nutriente nas folhas, provavelmente porque esse tratamento proporcionou maior crescimento radicular. Entretanto, na presença de gesso, a calagem promoveu redução na absorção de Zn pelo feijoeiro, provavelmente devido à inibição competitiva entre o Ca e o Zn (GALON et al., 1996), proporcionado pela aplicação de gesso associado a maiores doses de calcário.

O efeito da calagem em diminuir a disponibilidade de micronutrientes nos solos e a absorção pelas plantas é bastante conhecido na literatura (FAGERIA e ZIMMERMANN, 1979; MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985; FAGERIA et al., 1991; BARBOSA FILHO et al., 1994).

Constatou-se que os teores foliares de Zn e Cu estão adequados, mas os teores de ferro e manganês estão acima da faixa considerada adequada para o feijão, que segundo Ambrosano et al. (1997) situa-se entre 40-140 e 15-100 mg kg⁻¹.

Segundo Fageria (2002), o acúmulo de Zn, Fe e Mn diminui significativamente em solo de cerrado com o aumento do pH, o que pode estar relacionado com a absorção ou precipitação desses micronutrientes. Tisdale et al. (1985) relataram que a disponibilidade de Zn diminui cerca de 100 vezes com o aumento de uma unidade de pH.

Tabela 23. Teores de zinco e cobre nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	Zinco mg kg ⁻¹		
Testemunha	46,0 a	46,3 a	46,3 a
Gesso	41,5 abc	46,0 a	43,8 ab
Calcário	40,5 abc	45,0 a	42,8 ab
Silicato	43,0 ab	42,5 a	42,8 ab
Calcário + Silicato	42,0 abc	44,0 a	43,0 ab
Calcário + Gesso	37,5 bc	43,0 a	40,3 ab
Silicato + Gesso	35,5 bc	40,5 a	38,0 b
Calcário + Silicato + Gesso	34,5 c	43,0 a	38,8 b
DMS	7,72	7,57	6,29
Contraste (SG x CG)¹	***	ns	***
CV (%)	9,06	8,13	7,05
	Cobre mg kg ⁻¹		
Testemunha	18,5 a	9,5 a	14,0 a
Gesso	17,5 ab	8,5 a	13,0 ab
Calcário	17,0 ab	9,5 a	13,3 ab
Silicato	16,5 abc	9,5 a	13,0 ab
Calcário + Silicato	16,5 abc	9,5 a	13,0 ab
Calcário + Gesso	16,0 bc	9,0 a	12,5 ab
Silicato + Gesso	15,5 bc	9,0 a	12,3 b
Calcário + Silicato + Gesso	14,5 c	9,0 a	12,0 b
DMS	2,45	2,06	1,61
Contraste (SG x CG)¹	***	*	***
CV (%)	6,97	10,52	5,87

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

Tabela 24. Teores de ferro e manganês nas folhas de feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	Ferro mg kg ⁻¹		
Testemunha	648,0 a	439,5 a	543,8 a
Gesso	531,5 b	327,0 b	429,3 b
Calcário	526,8 b	316,0 bc	421,5 b
Silicato	327,5 c	265,5 de	296,5 c
Calcário + Silicato	526,3 b	288,5 cd	407,5 b
Calcário + Gesso	285,3 c	260,5 de	273,0 cd
Silicato + Gesso	248,0 c	213,5 f	230,8 d
Calcário + Silicato + Gesso	279,0 c	237,5 ef	258,3 cd
DMS	110,19	30,68	60,21
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	12,29	4,91	7,92
	Manganês mg kg ⁻¹		
Testemunha	173,5 a	262,5 a	218,0 a
Gesso	172,0 a	237,0 ab	204,5 ab
Calcário	150,5 b	236,0 ab	193,3 abc
Silicato	144,5 bc	218,0 ab	181,3 bcd
Calcário + Silicato	153,5 b	230,5 ab	192,0 abc
Calcário + Gesso	133,0 c	214,0 ab	173,5 bcd
Silicato + Gesso	132,0 c	182,3 b	157,3 d
Calcário + Silicato + Gesso	143,0 bc	200,0 b	171,5 cd
DMS	13,90	59,71	31,89
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	4,35	12,61	8,04

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

6.3.1 Componentes da produção e produtividade

A aplicação de corretivos e gesso agrícola em superfície influenciou o número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade. Não houve efeito sobre a população final de plantas do feijoeiro.

Com relação ao número de vagens por planta (Tabela 25), observou-se pela média dos anos, que a aplicação da mistura CSG proporcionou o mesmo efeito da aplicação de CG e SG, no entanto, não foi diferente dos tratamentos onde aplicou-se os

corretivos de forma isolada e misturados (CS). Observa-se uma diferença média de aproximadamente 4 vagens por planta comparando-se os tratamentos onde obteve-se maior valor em relação a testemunha.

De acordo com os resultados obtidos por Soratto (2005), o número de vagens por planta foi influenciado pela interação calcário x gesso, onde na ausência de gesso, a calagem proporcionou aumento neste componente, com os dados ajustando a uma função quadrática. O autor cita que este efeito pode estar relacionado com a maior disponibilidade de K no solo, já que a calagem promoveu aumento nos teores de K nas folhas do feijoeiro.

Houve efeito significativo dos tratamentos para o número de grãos por vagem (Tabela 25), onde verificou-se que os tratamentos constituídos de corretivos (calcário e/ou silicato) com e sem gesso agrícola, promoveram os maiores valores em relação à testemunha. No entanto, esta variável não foi influenciada pela aplicação superficial de calcário e gesso no estudo realizado por Soratto (2005).

Quanto à massa de 100 grãos (Tabela 26), constata-se maior valor na aplicação de silicato + gesso agrícola, quando comparado à testemunha, mas não foi diferente estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção do tratamento onde aplicou-se gesso agrícola.

Galon et al. (1996) também observaram aumento no peso de 100 grãos com a associação gesso-calcário. Os autores atribuem o ganho de peso dos grãos, devido principalmente aos efeitos positivos que esta associação propicia às propriedades químicas do solo, como aumento no valor de pH e maior disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Tabela 25. População de plantas, número de vagens por planta e número de grãos por vagem obtidos em feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	População de plantas ----- mil ha ⁻¹ -----		
Testemunha	258 a	170 a	214 a
Gesso	260 a	174 a	220 a
Calcário	260 a	170 a	222 a
Silicato	271 a	170 a	230 a
Calcário + Silicato	269 a	170 a	230 a
Calcário + Gesso	285 a	168 a	239 a
Silicato + Gesso	280 a	170 a	237 a
Calcário + Silicato + Gesso	297 a	163 a	245 a
DMS	76,33	18,86	40,09
Contraste (SG x CG)¹	ns	ns	ns
CV (%)	13,18	5,25	8,21
Vagens por planta ----- n ^o -----			
Testemunha	6,8 d	8,3 c	7,5 e
Gesso	7,0 cd	10,8 b	8,9 d
Calcário	7,8 bcd	13,3 a	10,5 c
Silicato	8,3 abc	13,5 a	10,9 bc
Calcário + Silicato	8,0 abcd	13,5 a	10,8 bc
Calcário + Gesso	9,0 ab	15,5 a	12,3 a
Silicato + Gesso	9,3 a	15,5 a	12,4 a
Calcário + Silicato + Gesso	8,3 abc	15,5 a	11,9 ab
DMS	1,26	2,44	1,23
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	7,39	8,68	5,46
Grãos por vagem ----- n ^o -----			
Testemunha	3,9 a	3,5 b	3,7 b
Gesso	4,0 a	3,5 b	3,7 b
Calcário	4,1 a	4,8 a	4,5 a
Silicato	4,1 a	4,9 a	4,6 a
Calcário + Silicato	4,1 a	4,9 a	4,5 a
Calcário + Gesso	4,4 a	5,3 a	4,8 a
Silicato + Gesso	4,4 a	5,2 a	4,8 a
Calcário + Silicato + Gesso	4,4 a	5,1 a	4,8 a
DMS	0,54	0,78	0,38
Contraste (SG x CG)¹	**	ns	ns
CV (%)	6,12	7,94	4,08

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

O maior valor de produtividade de grãos (2.257 kg ha^{-1}) foi obtido com a mistura CG, no entanto, foi estatisticamente semelhante aos demais tratamentos, com exceção dos tratamentos onde aplicou-se exclusivamente calcário ou gesso, que proporcionaram 1.984 e 1.616 kg ha^{-1} , respectivamente, e da testemunha. Observa-se uma diferença média de aproximadamente 932 kg ha^{-1} comparando-se os tratamentos onde obteve-se maior valor, em relação a testemunha. Deve-se destacar que todos os tratamentos que receberam a aplicação de algum produto proporcionaram produtividade estatisticamente superior a testemunha. Assim, a aplicação de apenas gesso agrícola ou calcário ou silicato proporcionou resultado significativamente superior à testemunha.

Analisando o contraste, pela média dos dois anos de cultivo, observou-se que a mistura de gesso agrícola aos corretivos propiciou maior número de vagens por planta, massa de 100 grãos e produtividade do feijoeiro, ou seja, o maior efeito nos tratamentos foi devido à presença de gesso.

Soratto (2005) observou que a calagem, na ausência da aplicação de gesso, promoveu aumento na produtividade grãos, com os dados sendo ajustados a uma função quadrática, sendo a produtividade máxima obtida foi com a dose estimada de 2.075 kg ha^{-1} de calcário.

O feijoeiro tem apresentado aumento significativo de produtividade com a aplicação de calcário incorporado (QUAGGIO et al., 1982; BARBOSA FILHO e SILVA, 2000; FAGERIA, 2001; FAGERIA e STONE, 2004), entretanto, não existem relatos do efeito da aplicação superficial de calcário e gesso sobre a produtividade da cultura.

Tabela 26. Massa de 100 grãos e produtividade de grãos obtidos em feijão em função da aplicação superficial de corretivos de acidez e gesso agrícola em plantio direto. Selvíria - MS, 2004 e 2005.

Tratamentos	2004	2005	Média
	Massa de 100 grãos		
	g		
Testemunha	27,6 b	24,3 a	26,0 c
Gesso	27,8 ab	25,0 a	26,4 bc
Calcário	28,3 ab	25,2 a	26,8 abc
Silicato	28,6 ab	25,3 a	26,9 abc
Calcário + Silicato	28,6 ab	25,3 a	27,0 abc
Calcário + Gesso	29,4 ab	25,8 a	27,6 ab
Silicato + Gesso	29,6 a	26,5 a	28,1 a
Calcário + Silicato + Gesso	28,8 ab	25,8 a	27,3 abc
DMS	2,04	2,62	1,50
Contraste (SG x CG)¹	*	*	***
CV (%)	3,35	4,85	2,60
	Produtividade de grãos		
	kg ha ⁻¹		
Testemunha	1.562 d	1.088 c	1.325 d
Gesso	1.621 cd	1.610 b	1.616 c
Calcário	1.696 bcd	2.272 a	1.984 b
Silicato	1.858 abc	2.321 a	2.090 ab
Calcário + Silicato	1.876 abc	2.342 a	2.109 ab
Calcário + Gesso	2.068 a	2.646 a	2.257 a
Silicato + Gesso	1.999 a	2.638 a	2.219 ab
Calcário + Silicato + Gesso	1.935 ab	2.633 a	2.185 ab
DMS	278,35	374,61	245,08
Contraste (SG x CG)¹	***	***	***
CV (%)	7,16	8,03	5,84

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10%.

¹Contraste dos tratamentos sem (SG) e com gesso (CG). *, **, *** e ns, significativo a 10%, 5% e 1% e não significativo, respectivamente pelo teste F.

7 CONCLUSÕES

A aplicação superficial de silicato no sistema plantio direto não foi superior ao calcário na neutralização da acidez do solo em profundidade, apresentando a mesma eficiência.

Não houve diferença entre a aplicação superficial de corretivos, tanto isolada como em mistura, nas características químicas do solo.

A utilização da mistura de gesso agrícola aos corretivos aplicados superficialmente em plantio direto elevaram os teores de K, Ca, Mg, NO_3^- e S-SO_4^{2-} em profundidade, contribuindo para maior atuação dos corretivos nas características químicas do perfil do solo.

A cultura do arroz foi influenciada pela aplicação superficial da mistura de corretivos e gesso agrícola em plantio direto, com efeitos positivos sobre o número de panículas refletindo diretamente na produtividade de grãos. Com relação à nutrição, houve elevação dos teores foliares de N, S e Si, e redução da absorção de Zn e Mn.

Os efeitos da aplicação superficial de corretivos da acidez do solo, principalmente quando em mistura com gesso agrícola em plantio direto elevaram os componentes de produção do feijoeiro (número de vagens por

planta, número médio de grãos por vagem, massa de 100 grãos) refletindo diretamente na produtividade de grãos. Além disso, aumentou a absorção pela planta de P, Ca, Mg, S e Si, e reduziu os teores de K e micronutrientes (Zn, Cu, Fe e Mn).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Prod. Science**, Tokyo, v.1, p.89-95, 1998.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características de qualidade. In: MALAVOLTA, E. (Coord.). **Seminário sobre corretivos agrícolas**. Piracicaba: Fundação Cargil, 1985. cap.3. p.97-117.

ALCARDE, J. C. **Contraditória, confusa e polêmica**: é a situação do uso do gesso na agricultura. Piracicaba: POTAFOS, 1988. 3p. (Informações Agronômicas, 41).

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

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: **Tópicos em ciência do solo**. Vol. III. Viçosa: SBCS. 2003. p.291-334.

ALCORDO, I. S.; RECHCIGL, J. E. **Phosphogypsum in agriculture**: a review. **Advances in Agronomy**, New York, v.118, p.49-55, 1993.

¹ Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT – NBR-6023 – Informação e Documentação – Referências - Elaboração atualizada. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

ALLEONI, L. R. F.; ZAMBROSI, F. C. B., MOREIRA, S. G., PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an oxisol under no tillage. **Scientia Agrícola**, v.60, p.119-123, 2003.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.923-934, 2005.

ALVA, A. K.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. An evolution of aluminum indices to predict aluminum toxicity to plants grown in nutrient solutions. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17, p.1271-80, 1986.

ALVAREZ, A. C. C. **Produção do arroz em função da adubação com silício e nitrogênio no sistema de sequeiro e irrigado por aspersão**. Botucatu 2003, 70p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.299-304, 1993.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.1, p.115-123, 2004a.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHIS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.2, p.359-367, 2004b.

AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996, p.187-202 (Boletim Técnico 100).

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.;

NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.874-893.

ARRUDA, D. P.; FOLTRAN, R; CRUSCIOL, C. A. C. Aplicação superficial de calcário e silicato de cálcio em soqueira de cana-de-açúcar sem queima prévia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.199-202.

BAHIA, V. G. Escórias de siderurgia como corretivos da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.4, p.489-494, 1989.

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

BALBINO, L. C et al. Plantio direto. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.301-352.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações Agrônômicas**, n.89, p.1-8, 2000 (Encarte técnico).

BARBOSA, D. S.; CAMARGO, M. S.; RAMOS, L. A.; RESENDE, R. H.; ARRUDA, D. G.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Correção da acidez do solo em profundidade e disponibilidade de silício proporcionados pela aplicação de silicato e calcário em lisímetros. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRS, 2., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. 1 CD-ROM.

BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e evolução. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.9-19 (Boletim, 4).

BRASIL Decreto n.º 2954. Aprova o regulamento da lei 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas Jurídicas** (Texto Integral) – DEC 004954, 14 jan., 2004, 27 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Portaria nº 3, de 12 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 de junho de 1986. Seção I, p.8.673.

BRASSIOLI, F. B.; SILVA, M. L. S.; FERNANDES, F. M. Efeito da aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez em alguns atributos químicos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

BRESEGHELLO, F., CASTRO, E. M., MORAIS, O. P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F. STONE, L. F. **Tecnologia para arroz para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998, p.41-53.

CAIRES, E. F. CHUEIRI, W. A., MADRUGA, E. F. Redução da acidez e movimentação de bases do solo pelo uso de calcário e gesso na superfície e resposta da soja e do milho cultivados em plantio direto. **Revista Plantio direto**, Passo Fundo, p.30-1, 1996. Edição especial.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função de calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A. FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.161-169, 2000a.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; FELDHAUS, I. C. Resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE

MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000b, Santa Maria. **Resumos Expandidos...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000b. 1 CD-ROM.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Crescimento radicular e nutrição do milho em resposta ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003a. 1 CD-ROM.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G. GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.275-286, 2003b.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.125-136, 2004.

CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; CORRÊA, G. F. Características físicas e disponibilidade de silício em solo sob vegetação de cerrado. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002. 1 CD-ROM.

CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C. B. Soil reaction and absorption of silicon by Rice. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.176-180. 2007.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.83-88, 1982.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento de gesso em amostras de solo com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.275-280, 1989.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. 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**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996, p.45-71 (Boletim Técnico 100).

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.** Botucatu, 2000, 119 p. Dissertação – (Mestrado em Agronomia - Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.

CARVALHO, L. J. C. B.; GOMIDE, R. L.; RODRIGUES, G. C.; SOUZA, D. M. G.; FREITAS JÚNIOR, E. Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1985, Brasília. **Anais...**, Brasília: EMBRAPA, 1986. p.61-83.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoil for root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.192, p.37-48, 1997.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.1323-1328, 2003.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Efeito da aplicação superficial de calcário e silicato na cultura da soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2007. p.191-194.

CHAGAS, R. C. S. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milheto.** Piracicaba, 2004. 80p. Tese (doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, A. M.; MIYAZAWA, M. Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.5, p.469-76, 1988.

CONTIERO, R. L. **Estudo da aplicação de calcário e gesso nas características químicas do solo cultivado com cana-de-açúcar (*Sacharum spp*).** 1995. 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – área: Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.

CORRÊA, M. L. T. **Utilização de escória de aciaria como corretivo da acidez de solos para cultivos de soja e cana-de-açúcar e avaliação da contaminação ambiental.** Viçosa,

2006. 164p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Adubação silicatada e estresse hídrico em batata. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.218-221.

DAL BÓ, M. A.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M.; THIÉBAUT, J. T. L.; NOVAIS, R. F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana de açúcar. I. Movimentação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.195-198, 1986.

DALTO, G.; KORNDORFER, G. H.; SNYDER, G. H.; LUIZ, E. J. M.; IVAN, L. M. A. Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.179-186. 2004.

DATNOFF, L. E.; RAID, R.N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, Saint Paul, n.5, p.65, 1990.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, Saint Paul, v.74, p.729-732, 1991.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; ZINDER, 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, L. E.; FERREIRA, F. A. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. Movimentação de cálcio em colunas de solo tratadas com carbonato e sulfato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 31, n.178, p.407-414, 1994.

DUARTE, A. P.; QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; FURLANI, P. R.; KANTHACK, R. A. D. Resposta de cultivares de arroz de sequeiro à calagem. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.2. p.53-361, 1999.

ELAWAD, S. H., GREEN, V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, New York, v.28, p.235-253. 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivares de feijão**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/pesquisa/perola.htm>>. Acesso em: 10 abr. 2008.

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.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.41-46, 1993.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v.22, p.275-280, 1998.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.1, n.4, p.825-831, 2001.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on na acid Brazilian Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.305-309, 2002.

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

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C., JONES, C. A. Corn. In: **Grow and mineral nutrition of field crops**. 2 ed., Madison: Marcel Decker, 1997. p.345-383.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1419-1424, 2001.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.73-78, 2004.

FARIA, R. G. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras 2000, 47p. Dissertação (Mestrado – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P. Acid subsoil amelioration. I. A comparison of several mechanical procedures. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.160-75, 1988.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. **Evolução do Plantio Direto no Brasil**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: 14 mai. 2008.

FERREIRA, R. P.; SALGADO, L. T.; JORGE, H. D. Tolerância de cultivares de arroz ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.21, p.1257-126, 1986.

FOLTRAN, R.; CRUSCIOL, C. A. C. Aplicação superficial de calcário e silicato de cálcio associado ou não ao gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem queima prévia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2007. p.195-198.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; VIDAL, A. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Efeito da escória de siderurgia e do calcário na disponibilidade de silício no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2007. p.26-28.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por métodos biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.357-60, 2001.

GALON, J. A.; BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C. Efeito de modos e épocas de aplicação de gesso e calcário sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, p.119-125, 1996.

GALVEZ, L.; CLARK, R. B.; GOURLEY, L. M.; MARANVILLE, J. W. Silicon interactions with manganese and aluminum toxicity in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, p.1139-1147, 1987.

GASSEN, D.; KOCHHANN, R. A. Benefícios de insetos de solo sob plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, Sociedade Brasileira do Solo, 1998. p.151-160.

GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de escórias de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v.24, n.15, p. 173-179, 1965.

HELYAR, K. **Manejo da acidez do solo a curto e a longo prazos**. Piracicaba: Potafós, 2003. 12p. (Encarte Técnico, 104).

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.145-154, 1999.

HORIGUCHI, T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. IV. Effects of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.34, p.65-73, 1988.

HOSSAIN, K. A.; HORIUCHI, T.; MIYAGAWA, S. Effects of silicate materials on growth and grain yield of rice plants grown in clay loam and sandy loam soils. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, p.1-13, 2001.

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

KORNDÖRFER, G. H., COELHO, N. M., SNYDER, G. H., MYZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.101-106. 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; POWELL, G.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, n.7, p.1071-1084, 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2002a. 23p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; FARIA, R. J.; DATNOFF, L. E.; PEREIRA, L. E. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. In: FERTBIO 2002. Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRJ, 2002b. 1 CD-ROM.

KORNDÖRFER, G. H.; CORRENTE, J. E.; CHAGAS, R. C. S.; MURAOKA, T.; MOURA, W. F. Rendimento e acúmulo de silício em arroz adubado com escória de siderurgia em dois tipos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. (CD – ROM).

LIANG, Y. C.; MA, T. S.; LI, F. J.; FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communication Soil Science Plant Anal.**, New York, v.25, p.2285-97, 1994.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n.87, p.1-7, 1999 (Encarte Técnico).

LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C. . Fertilidade do solo no sistema de semeadura direta recém implantada em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina, 2001. p.130.

LIMA, E. V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. Botucatu, 2004. 125p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2004.

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. 110p.

MA, J.; NISHIMURA, K.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v.35, p.347-356, 1989.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a benefic element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. v.8, p.17-39.

MADEIROS, L. B.; SANTOS, R. T.; NOBREGA, J. A.; AQUINO, B. F.; FEITOSA, J. V. Escória siderúrgica sobre a concentração de macronutrientes na cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007. p.99-101.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J. P.; LIEM, T. H.; VITTI, G. C. **Gesso agrícola: seu uso na adubação e correção do solo**. São Paulo: ULTRAFÉRTIL, 1981. 30p.

MALAVOLTA, E. **Reação do solo e crescimento das plantas**. Seminário sobre corretivos agrícolas. Campinas: Fundação Cargill, p. 3-64, 1985.

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

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, L. Atributos químicos de um argissolo e rendimento de culturas pelo manejo da calagem em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MATOH, T.; MURATA, S.; TAKAHASHI, E. Effect of silicat application on photosynthesis of rice plants. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.63, n.3, p.248-251, 1991.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; GRAS, FILHO, H.; CORRÊA, J. C. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.4, p.761-765, 2003.

MAUAD, M. **Desenvolvimento e marcha de absorção de silício em plantas de arroz sob condição de déficit hídrico e adubação silicatada**. 2006. 107p. (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual, Botucatu, 2006.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solution. II The adsorption of monossilic acid by soil by other substances. **Canadian Journal Soil Science**, Manitoba, v.43, n.1, p.83-95, 1963.

MEDEIROS, R. D. Primavera e bonança: novas cultivares de arroz de sequeiro para o Estado de Roraima. **Comunicado Técnico**, n.4, p.1-5, 2000.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BOAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BULL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo Distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.553-561, 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plants nutrition**. 4 ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; ROCH, C.; SEYWERD, F. Effects of soluble solution on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on Cucumis sativa. **Phytopathology**, Saint Paul, v.81, p.84-88, 1991.

MESQUITA, H. A. **Efeito do gesso e do calcário em solo aluvial cultivado com arroz (*Oryza sativa* L.)**. 1993. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1993.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Past, present and future research of the role silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001.p.257-278.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Calcário – produção e consumo aparente – Brasil – 1992 a 2001**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 18 abr. 2008.

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

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANTSOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Abstracts...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CPAC/EMBRAPA, 1996. p.8.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n.92, 2000. 8p. (Encarte técnico).

MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Adubação, calagem, disponibilidade de nutrientes e produção de arroz e feijão em solo nivelado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.9, p.1443-1449, 1998.

MORAES, J. F. L.; BELLINGIERI, P. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GALON, L. A. Efeitos de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.75-82, 1998.

MOREIRA, S. G. **Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produção de soja**. 1999. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v.25, p.71-80, 2001.

NOGUEIRA, A. R. A.; MOZETO, A. A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.1-6, 1990.

NOLLA, A.; KORNDORFER, G. H. Produção de cana-de-açúcar e correção da acidez de um neossolo submetido à aplicação de carbonato e silicato de cálcio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.30-33.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P.; TEIXEIRA, J. L.; LEAL, P. G. L. **Eficiência Agrônômica de Escórias de Siderurgia Pains**. Viçosa: UFV, 1993.

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

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CPATSA/EMBRAPA, 1994. p.178.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, R. G. **Avaliação de diferentes corretivos e da ação do gesso através de colunas de lixiviação em material de um Latossolo Vermelho Distroférrico**. 2004. 40p. Monografia (Graduação) – Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, 2004.

PADILHA, J. M.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário calcítico e dolomítico em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee (*Coffea arabica* L.) in Ultisols and Oxisols amended with amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1201-1207, 1982.

PAVAN, M.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of Brazilian Oxisol. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.44, p.391-394, 1992.

PAVAN, M. A. Mobilidade de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.16, p.86-91, 1994.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. Corretivos da acidez do solo: experiências no Paraná. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.61-76. (Boletim, 4).

PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H.; MARTINS, M. R. Comportamento do silicato de cálcio em quatro solos de cerrado. In: FERTBIO, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.152.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.885-895, 2001.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso de escória como corretivo e fertilizante**. Piracicaba, 1991. 99p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, 1991.

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

PONNAMPERUMA, F. N. The chemical of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96. 1972.

PÖTTKER, D. et al. **Calagem em plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1998a. 40p. (Boletim técnico, 4).

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.675-684, 1998b.

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

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

PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivo da acidez de solos no cultivo da alfaca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.539-546, 2002.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 1, p. 140-144, 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, p.1651-1659, 2008.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. van. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.189-194, 1982.

QUAGGIO, J. A. **Reação do solo e seu controle**. In: Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo. Fundação Cargill. 1986. 179 p.

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

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

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.131-136, 1988.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; MASCARENHAS, H. A. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; IGUE, T.; SORDI, G. Efeito de calcário e de gesso para a soja cultivada em Latossolo Roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.305-312, 1994.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. van; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.101-108, 1998.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. van. **Uso do gesso agrícola na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 2007. p.14-15 (Informações Agronômicas, 117).

RAMOS, L. A. **Corretivos e condicionadores na correção do solo através de colunas de lixiviação**. 2003. 44p. Monografia (graduação) – Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, 2003.

RAMOS, L. A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.849-857, 2006.

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

RAVEN J, A. Cycling silicon-the role of accumulation in plant. **New Phytologist**, Cambridge, v.158. p.419-421, 2003.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, Pretoria, v.4, p.1-6, 1972.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.797-805, 2000.

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

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.40-44, 1980.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, K. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.40-44, 1980.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, p.378-382, 1982.

RODRIGUES, F. A.; MCNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBE, C.; BENHAMOU, N. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, Palo Alto, v.94, p.177-183, 2004.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Efeitos da calagem e gessagem sobre a produção de algodão e lixiviação de bases em dois latossolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 9., 1983, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 33.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.97-102, 1984.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.301-309, 2003.

SÁ, J. C. M. Efeito de métodos de calagem em um Lea argiloso sob longo período em plantio direto com elevada acidez. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, edição especial, p.32-3, 1996.

SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; PARRY, D.W. Silicon deposition and anatomical studies in the inflorescence bracts of four *Phalaris* species with their possible relevance to carcinogenesis. **New Phytologist**, v.93, p.105-122, 2001.

SANTOS, D. S.; SOUSA, R. T. X.; KORNDORFER, G. H. Avaliação do desenvolvimento do arroz (*Oryza sativa*) em um neossolo do triângulo mineiro pela aplicação de doses de calcário e wollastonita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.67-69.

SANTOS, G. R.; KORNDORFER, 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:UFV, v.50, n.287, p.1-8, 2003.

SANTOS, H. P., TOMM, G. O., LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.449-454, 1995.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. **Advanced Agronomy**, New York, v.58, p.151-99, 1997a.

SAVANT, N. K., DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H. Depletion of plant-avaivable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communication in Soil Science in Plant Analysis**, New York, v.28, p.1245-52, 1997b.

SHAIMBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.. Use of gypsum on soils a review. **Advances in Soil Science**, New York, v.9, p.1-111, 1989.

SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI-NETO, A. E.; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.451-457, 1998.

SILVA, J. **Avaliação do potencial agronômico e de contaminação ambiental decorrente do uso de uma escória de aciaria como corretivo e fertilizante de solos**. Viçosa: UFV, 2003. 134 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

SILVA, M. G.; ARF, O.; ADORNO, T. L.; CRUSCIOL, C. A. C. Aplicação superficial de corretivos e produtividade do feijoeiro em condições de sequeiro e irrigada, em sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.127-130.

SORATTO, R. P. **Aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto**. 2005. 173p. (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.81-90, 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.675-688, 2008a.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, p.261-270, 2008b.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Métodos de determinação de cálcio e magnésio trocáveis e estimativa do calcário residual em um latossolo submetido à aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.663-673, 2008c.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.715-725, 2008d.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.928-935, 2008e.

SOUSA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1985, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1985. p.119-144.

SOUSA, D. M. G., RITCHEY, K. D. Correção da acidez subsuperficial: o uso de gesso no solo de cerrado. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., Piracicaba, 1986. **Anais...** Campinas: Fundação CARGILL, 1986, p.91-113.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1996. 20 p. (Circular técnica, 32).

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming an surface application of gypsum. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.50, p.1254-1278, 1986.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of rice plant physiology**. Tokyo: Nobunkyo, v.2, cap.5, 1995. p.420-433.

TAKATSUKA, M.; MAKIHARA, D.; TSUDA, M.; HIRAI, Y.; TAKAMURA. Plant water relacion and silicon concentration in two rice varieties differing in salinity tolerance. **Japan Journal Tropical Agriculture**, Tokyo, v.45, p.259-265, 2001.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BESTON, J. D.; HAULIN, J. L. **Soil fertility and fertilizer**. New York: Macmillam, 1993, p.634.

TRENHOLM, L. E., DUNCAN, R. R., CARROW, R. N., SNYDER, G. H. Influence of silica on growth, quality, and wear tolerance of seashore paspalun. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.22, p.1763-1773, 1999.

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**, Madison, v.147, p.107-15, 1989.

VIDAL, A. A.; PRADO, R. M. ; NATALE, W.; ANDRADE, M. G. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho Distrófico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Resumos Expandidos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.38-42.

VITTI, G. C.; FERREIRA, M. E.; MALAVOLTA, E. O gesso agrícola como fonte de cálcio e enxofre - respostas de culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, Brasília, 1985. **Anais...** Brasília: EMBRAPA DDT, 1985. p.17-43.

WEIRICH NETO, P. H.; CAIRES, E. F.; JUSTINO, A.; DIAS, J. Eficiência de métodos de incorporação de calcário na correção de acidez do solo e resposta do milho cultivado em campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.) **Encyclopedia of Plant Physiology**. Berlin: Springer – Verlag, 1983. p.682 – 694 (New Series, 15B).

WIELEWICKI, A.; MARCHEZAN, E.; STORCK, L. Absorção de nutrientes pelo arroz em resposta à calagem e à época de início da irrigação. *Ciência Rural*, v. 28, p. 17-21, 1998.

WINSLON, M. D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1208-13, 1992.

WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. **I Curso de adubação verde no Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. 89p.

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. Piracicaba, 1989, 62 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ – Universidade de São Paulo, 1989.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. *Bull. National Institute Agricultural Science*, Kobe, v.15, p.1-58. 1965.

YOSHIDA, S., OHNISHI, Y., KITAGISHI, K. Role of silicon in rice nutrition. **Soil Plant Food**, Norcross, v.5, p.127-33, 1959.

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

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.42, p.257-262, 1999.