

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

SUSANA CHURKA BLUM

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E COMPORTAMENTO DO TRIGO E
DA SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO E
REAPLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA**

**PONTA GROSSA – PR
FEVEREIRO – 2008**

SUSANA CHURKA BLUM

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E COMPORTAMENTO DO TRIGO E DA
SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO E
REAPLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual
de Ponta Grossa para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia - Área de Concentração:
Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

PONTA GROSSA – PR
FEVEREIRO – 2008

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor de Processos Técnicos BICEN/UEPG

B658a Blum, Susana Churka
Atributos químicos de um latossolo e comportamento
do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela
aplicação e reaplicação de gesso agrícola / Susana Churka
Blum. Ponta Grossa, 2008.
74f.
Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade
Estadual de Ponta Grossa.
Orientador : Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

1. Fertilidade do subsolo. 2. Cálcio. 3. Enxofre. 4. Nutrição
mineral. 5. *Triticum aestivum* L. 6. *Glycine Max* L. Merrill
I. Caires, Eduardo Fávero. II. T.

CDD: 631.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação:

“ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E COMPORTAMENTO DO TRIGO E DA SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO E REAPLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA”.

Nome: Susana Churka Blum

Orientador: Eduardo Fávero Caires

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof Dr. Eduardo Fávero Caires

Prof. Dr. Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Data da realização: 14 de fevereiro de 2008

A frase mais deliciosa que se pode ouvir na ciência, aquela que todos os cientistas adoram, não é “Eureka”, mas “que engraçado...”

(Isaac Asimov- bioquímico e escritor, 1920-1992)

Do meu telescópio, eu via Deus caminhar! A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo minha última e mais elevada descoberta.

(Isaac Newton – físico, matemático e astrônomo, 1642-1727)

Aos meus pais Alice e Paulo

Pelo incentivo ao estudo, educação e formação humana

OFEREÇO

Ao meu esposo Julius

Pelo amor e carinho constantes e por me ensinar, dia a dia que “Paciência e perseverança tem o efeito mágico de fazer as dificuldades desaparecerem e os obstáculos sumirem” (*John Quincy Adamns*)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que cada dia nos saúda com a beleza de um novo amanhecer, dando oportunidade de conviver com os amigos, trabalhar, e assim descobrir a grandiosidade das suas obras.

Ao Professor Eduardo, pelos ensinamentos compartilhados, dedicada e paciente orientação, e principalmente, por cumprir a tarefa essencial de um mestre que, conforme Albert Einstein é a de “despertar a alegria de trabalhar e de conhecer”.

A toda a equipe do Laboratório Fertilidade do Solo. Agradeço aos funcionários: Sérgio, Dirce e em especial à Verônica, pela paciência no início de minhas atividades, compartilhando suas experiências alcançadas até agora e auxiliando nas análises. Muito obrigada aos amigos e colegas de estágio: Evandro, Éder, Hélio, Paulo e Renato que além de prestarem auxílio sempre que necessário, proporcionaram vários momentos muito divertidos, tanto nas atividades de campo quanto em laboratório.

Aos colegas da pós-graduação, em especial ao Fernando Garbuio e ao Gabriel Barth, pelo incentivo, e por auxiliarem constantemente na busca por artigos e na realização de novas determinações analíticas.

Ao senhor Edilson Gorte, pela concessão da área para a instalação do experimento, pela confiança depositada e à sua grande atenção e cuidado no manejo das culturas, possibilitando-nos a cada ano, obter trabalhos mais completos.

Aos colegas do Programa de Mestrado em Agronomia, pela amizade e companheirismo, em especial ao José Alfredo, Dácio, Adriane e a Geisa, que, além da motivação nas atividades de estudo, propiciaram excelentes momentos de confraternização.

Às amigas, pela confiança e incentivo nesses anos de convivência, em especial à Daniele Sabatke pelo otimismo e à Luciane Hennemberg, pela energia contagiante.

À professora e amiga Dalva Cassie Rocha, minha primeira orientadora de Iniciação Científica, pela confiança e por despertar em mim o interesse pela grandeza das atividades científicas.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, por possibilitar a realização do mestrado, bem como deste trabalho de pesquisa e ao Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, por possibilitar a realização das análises nos seus laboratórios.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos e apoio nas apresentações de trabalhos em congressos e viagens técnicas por meio do Programa de Apoio à Pós Graduação (PROAP).

E a todas as pessoas que de alguma maneira, contribuíram para a realização desse trabalho.

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E COMPORTAMENTO DO TRIGO E DA SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO E REAPLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA

RESUMO

A adição de gesso agrícola proporciona modificações químicas no solo que podem beneficiar a produção das culturas. Com o objetivo de estudar os efeitos da aplicação e reaplicação de gesso agrícola nos atributos químicos do solo, na nutrição mineral e na produção de grãos de trigo, soja convencional e soja transgênica cultivados em sistema plantio direto, realizou-se um experimento em um Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa, em Ponta Grossa (PR). O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas receberam quatro doses de gesso (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) em 1998 e, nas subparcelas, foram reaplicadas duas doses de gesso (0 e 6 t ha⁻¹) em 2004. As culturas de trigo (cv. OR 1), soja convencional (cv. BRS 154) e soja transgênica (cv. CD 214 RR) foram avaliadas quanto a nutrição mineral e a produção de grãos no período de 2005-2007. As doses de gesso aplicadas em 1998 tiveram efeito de longa duração no solo, principalmente no aumento da disponibilidade de S-SO₄²⁻, aumentaram a produção de massa seca do trigo, mas não influenciaram a produção de grãos de trigo e soja - convencional e transgênica. A reaplicação de gesso efetuada em 2004 aumentou os teores de Ca²⁺ trocável e de sulfato disponível em todo o perfil do solo (0-60 cm), aumentou a relação Ca²⁺/Mg²⁺, principalmente nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm), reduziu a saturação por Al³⁺ nas camadas do subsolo (20-40 e 40-60 cm) e promoveu lixiviação de Mg²⁺ trocável da camada superficial do solo (0-5 cm). A reaplicação de gesso aumentou os teores de K, Ca e S nas folhas de trigo e de Ca nas folhas de soja convencional (cv. BRS 154). A produção de grãos do trigo e de soja transgênica (cv. CD 214 RR) foi aumentada com a reaplicação de gesso. O aumento na produção de trigo com a reaplicação de gesso esteve relacionado com o aumento de Ca²⁺ trocável, da relação Ca/Mg e do sulfato disponível no solo, e ainda, com a diminuição do Al³⁺ trocável e da saturação por Al³⁺ nas camadas do subsolo. A produção de soja transgênica (cv. CD 214 RR) foi aumentada devido ao aumento de sulfato disponível no solo proporcionado pela reaplicação de gesso, mostrando que o genótipo transgênico (CD 214 RR) provavelmente possui maior exigência em enxofre do que o genótipo convencional (cv. BRS 154). A reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso em 2004 aumentou em 7% a produção acumulada de grãos de trigo e soja no período de 2005–2007, mostrando viabilidade técnica em solo com baixa acidez em subsuperfície.

Palavras-chave: fertilidade do subsolo, cálcio, enxofre, nutrição mineral, *Triticum aestivum* L., *Glycine Max* L. Merrill.

CHEMICAL ATTRIBUTES OF AN OXISOL AND PERFORMANCE OF WHEAT AND SOYBEAN CROPS UNDER A NO-TILL SYSTEM AS AFFECTED BY GYPSUM APPLICATION AND REAPPLICATION

ABSTRACT

Gypsum application provides chemical changes on soil that can improve crop yield. This study was carried out to investigate the gypsum application and reapplication effects on soil chemical attributes, mineral nutrition and wheat and soybean grain yields under a no-till system. A field experiment was established in 1998 on a dystrophic clayey Rhodic Hapludox, in Ponta Grossa, Parana State, Brazil. A randomized complete block design was used, with three replications, in a split plot experiment. Gypsum was surface-applied at rates of 0, 3, 6, and 9 t ha⁻¹ in 1998 (main plots) and two rates of gypsum at 0 and 6 t ha⁻¹ were reapplied on the soil surface in 2004 (subplots). Mineral nutrition and grain yields of wheat (cv. OR 1), conventional soybean (cv. BRS 154) and transgenic soybean (cv. CD 214 RR) were evaluated in the period of 2005-2007. Gypsum rates applied in 1998 presented long-term effects, mainly increasing the S-SO₄²⁻ content and raising wheat dry mass. Grain yields of wheat, conventional soybean and transgenic soybean were not influenced by gypsum applied in 1998. Gypsum reapplication in 2004 increased the exchangeable Ca²⁺ and S-SO₄²⁻ contents in all soil profile (0-60 cm), increased Ca²⁺/Mg²⁺ ratio, mainly on topsoil (0-5 and 5-10 cm), decreased Al³⁺ saturation on subsoil (20-40 and 40-60 cm) and provided leaching of exchangeable Mg²⁺ from topsoil (0-5 cm). Gypsum reapplication increased the concentrations of K, Ca, and S in wheat leaves and the Ca concentration in conventional soybean (cv. BRS 154) leaves. Grain yields of wheat and transgenic soybean (cv. CD 214 RR) were increased by gypsum reapplication. The increment in wheat yield with gypsum reapplication was related to increase in exchangeable Ca²⁺, Ca²⁺/Mg²⁺ ratio, and S-SO₄²⁻ content, and also to decrease in exchangeable Al³⁺ and Al³⁺ saturation in the subsoil layers. Transgenic soybean yield (CD 214 RR) was higher with gypsum reapplication due to increase in the S-SO₄²⁻ level in the soil, showing that the transgenic genotype (CD 214 RR) has probably demand higher in sulfur than the conventional genotype (cv. BRS 154). Gypsum reapplication at 6 t ha⁻¹ in 2004 increased the cumulative grain yield of wheat and soybean in 7% in the period from 2005 through 2007, indicating technical viability on soil with low acidity in the subsurface layers.

Key-words: subsoil fertility, calcium, sulfur, mineral nutrition, *Triticum aestivum* L., *Glycine Max* L. Merrill.

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Dados climáticos da região de Ponta Grossa, PR. Precipitação pluvial média mensal da região em 45 anos, precipitação pluvial média mensal ocorrida durante a realização do experimento (maio de 2005 a maio de 2007) e temperaturas médias, máximas e mínimas ocorridas no mesmo período (Iapar, 2007)	35
FIGURA 2 - Teores de $S-SO_4^{2-}$ disponível no solo extraídos com solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (a) e solução de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (b), em diferentes profundidades: 0–5 cm (●), 5–10 cm (□), 10–20 cm (▲), 20–40 cm (■) e 40–60 cm (○), após 7,5 anos da aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto. *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$	45
FIGURA 3 - Correlação entre o teor de carbono orgânico do solo e o ΔpH na camada de 0–60 cm. **: $P < 0,01$	48
FIGURA 4 - Teores de $S-SO_4^{2-}$ do solo extraído com solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e solução de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, após 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em sistema plantio direto. *: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$. Sem (■) e com (■) a reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso, após 1,5 anos	51
FIGURA 5 - Correlação entre os teores de sulfato no solo (0–60 cm) extraídos com solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e solução de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. **: $P < 0,01$	53
FIGURA 6 - Produção de grãos de trigo cv. OR 1 (2005), de soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006) e de soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007) em função das doses de gesso aplicadas em 1998.....	61
FIGURA 7 - Produção de grãos de trigo cv. OR 1 (2005), de soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006) e de soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007) em função da reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em 2004.....	62

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Resultados de análises químicas e granulométricas do solo antes da instalação do experimento em 1998.....	29
TABELA 2 - Resultados de análises químicas do solo antes da reaplicação do gesso em 2004.....	30
TABELA 3 - Sucessão de culturas e quantidades de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O aplicadas de 1998 a 2006 na área experimental.....	31
TABELA 4 - Valores de pH em CaCl ₂ , em água e em KCl, ΔpH e teores de carbono orgânico, em diferentes profundidades do solo, após 7,5 anos da aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto.....	40
TABELA 5 - Saturação por Al ³⁺ , teores de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e K ⁺ trocáveis e relação Ca ²⁺ /Mg ²⁺ do solo, em diferentes profundidades, após 7,5 anos da aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto.....	43
TABELA 6 - Valores de pH em CaCl ₂ , em água e em KCl, Δ pH e teores de carbono orgânico, em diferentes profundidades do solo, após 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha ⁻¹ de gesso em sistema plantio direto.....	46
TABELA 7 - Saturação por Al ³⁺ , teores de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e K ⁺ trocáveis e relação Ca ²⁺ /Mg ²⁺ do solo, em diferentes profundidades, após 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha ⁻¹ de gesso em sistema plantio direto.....	49
TABELA 8 - Produção de matéria seca da parte aérea e extração de nutrientes pelas plantas de trigo cv. OR 1 cultivado em 2005 de acordo com as doses de gesso aplicadas em 1998 e a reaplicação de gesso em 2004 em sistema plantio direto.....	54
TABELA 9 - Coeficientes de correlação entre a produção de massa seca de trigo cv. OR 1 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem.....	55
TABELA 10 - Concentrações de macronutrientes nas folhas de trigo cv. OR 1 (2005), de soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006) e de soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007) em função das doses de gesso aplicadas em 1998 e da reaplicação de gesso em 2004 em sistema plantio direto.....	57

TABELA 11 -	Coeficientes de correlação entre a concentração de nutrientes nas folhas de trigo cv. OR-1 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem.....	58
TABELA 12 -	Coeficientes de correlação entre a concentração de nutrientes nas folhas da soja cv. BRS 154 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem.....	59
TABELA 13-	Coeficientes de correlação entre a produção de grãos de trigo cv. OR 1 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem.....	63
TABELA 14 -	Coeficientes de correlação entre a produção de grãos de soja transgênica cv. CD 214 RR e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem.....	64

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. O sistema plantio direto e a acidez do solo.....	17
2.2. Gesso agrícola e efeitos em atributos químicos do solo com a sua aplicação.....	18
2.3. Efeitos do gesso nas culturas anuais.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Área experimental.....	28
3.2. Caracterização física e química do solo.....	28
3.3. Delineamento experimental.....	29
3.4. Sucessão de culturas.....	30
3.5. Informações sobre os cultivares de trigo e soja.....	31
3.5.1. Trigo OR 1	31
• <i>Características agronômicas do cultivar.....</i>	<i>31</i>
• <i>Informações sobre a semeadura e tratos culturais.....</i>	<i>32</i>
3.5.2. Soja BRS 154.....	32
• <i>Características agronômicas do cultivar.....</i>	<i>32</i>
• <i>Informações sobre a semeadura e tratos culturais.....</i>	<i>33</i>
3.5.3. Soja CD 214 RR.....	33
• <i>Características agronômicas do cultivar.....</i>	<i>33</i>
• <i>Informações sobre a semeadura e tratos culturais.....</i>	<i>34</i>
3.6. Condições climáticas.....	34
3.7. Avaliações	36
3.7.1. Produção de matéria seca e análises químicas das plantas de trigo.....	36

3.7.2. Análises químicas do tecido foliar do trigo.....	36
3.7.3. Análises químicas do tecido foliar de soja.....	36
3.7.4. Produção de grãos	37
3.7.5. Análises de solo.....	37
3.7.6. Análises estatísticas.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Efeito das doses de gesso aplicadas em 1998 nos atributos químicos do solo.....	39
• Acidez do solo, ΔpH e carbono orgânico.....	39
• Saturação por Al^{3+} teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e relação Ca^{2+}/Mg^{2+}	41
• Sulfato disponível por extração com fosfato de cálcio e acetato de amônio....	44
4.2 Efeito da reaplicação de gesso em 2004 nos atributos químicos do solo.....	46
• Acidez do solo, ΔpH e carbono orgânico.....	46
• Saturação por Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e relação Ca^{2+}/Mg^{2+}	48
• Sulfato disponível por extração com fosfato de cálcio e acetato de amônio....	51
4.3 Nutrição mineral das plantas de trigo e soja.....	53
• Produção de matéria seca e extração de nutrientes pelas plantas de trigo.....	53
• Concentração de nutrientes nas folhas de trigo e de soja convencional e transgênica.....	56
4.4 Produção de grãos de trigo e soja.....	60
5. CONCLUSÕES	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

Alternativas econômicas para a melhoria de atributos químicos e estruturais do solo visando o aumento da produção de grãos têm sido freqüentemente buscadas na agricultura. A adoção do sistema plantio direto no Brasil, no início da década de 1970, muito contribuiu para a melhoria de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pelo constante aporte de resíduos vegetais na superfície do solo, elevando os teores de matéria orgânica, a principal geradora de cargas elétricas negativas para os solos tropicais.

No sistema plantio direto, a correção da acidez do solo é realizada por meio de aplicação de calcário na superfície, sem incorporação. A ação da calagem, nesse caso, pode ficar restrita às camadas superficiais do solo, em vista da baixa mobilidade dos produtos da reação do calcário no solo. Por outro lado, a melhoria do ambiente radicular no subsolo pode beneficiar o crescimento de raízes e a produção das culturas, principalmente em situações de deficiência hídrica.

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quando aplicado na superfície, movimenta-se para as camadas do subsolo. Como resultado tem-se aumento do teor de cálcio e redução da toxicidade do alumínio, favorecendo a penetração de raízes nas camadas subsuperficiais.

As pesquisas com o uso do gesso agrícola na agricultura intensificaram-se na década de 1980, aliadas à preocupação com o resíduo produzido pelas indústrias de ácido fosfórico. Este subproduto da indústria de ácido fosfórico, que contém em sua formulação principalmente

sulfato de cálcio e pequenas concentrações de P e F, é largamente disponível em muitas partes do mundo.

A aplicação de gesso na superfície seguida por lixiviação para subsolos ácidos resulta em melhor crescimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, em decorrência do aumento da concentração de Ca, da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e da precipitação de Al^{3+} . Em casos de solos com concentração muito baixa de Al^{3+} trocável, mas com baixa concentração de Ca^{2+} trocável, o suprimento de cálcio é o principal fator responsável pelo melhor crescimento do sistema radicular. Além de ser utilizado para a melhoria do ambiente radicular no subsolo, o gesso agrícola também pode ser empregado como fonte de Ca e S para as plantas. A adubação com S tem sido negligenciada na agricultura brasileira devido ao uso freqüente de formulações concentradas de fertilizantes que não contém S em sua composição. Em adição, ainda não estão bem definidos os níveis críticos de S-SO_4^{2-} disponível no solo para a maioria das culturas.

As alterações no solo provocadas pela aplicação de gesso são complexas e seus efeitos nas plantas são difíceis de serem isolados. Um dos maiores problemas da utilização de gesso se reside na caracterização de situações em que se podem esperar efeitos favoráveis com a sua aplicação e quanto ao método de recomendação do produto. As culturas têm apresentado respostas diferenciadas ao emprego de gesso agrícola. Com certa freqüência, tem ocorrido pouca resposta de plantas leguminosas (soja e feijão) e incrementos importantes no rendimento de grãos de gramíneas (trigo, cevada, milho) com a aplicação de gesso.

Em vários estudos realizados com soja convencional não foi observada resposta da cultura ao gesso aplicado. O comportamento da soja transgênica em função da aplicação de gesso é desconhecido no Brasil. A produção de trigo tem sido freqüentemente aumentada com o uso de gesso. Os aumentos na produção de grãos das culturas com a utilização de gesso têm sido atribuídos à melhoria do ambiente radicular no subsolo, por meio de aumento do teor de Ca^{2+}

trocável e redução da toxicidade de Al^{3+} , ao aumento da relação Ca/Mg e de S-SO_4^{2-} disponível no solo.

Considerando que existem poucas informações a respeito de efeitos de longo prazo da aplicação de gesso em solos brasileiros e que as culturas têm apresentado respostas diferenciadas ao uso de gesso, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações químicas do solo, a nutrição mineral e a produção de grãos de trigo e de soja convencional e transgênica em resposta à aplicação e reaplicação superficial de gesso, em sistema plantio direto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O sistema plantio direto e a acidez do solo

O sistema plantio direto estabelecido no Estado do Paraná a partir da década de 1970 garantiu maior sustentabilidade para a agricultura em áreas ameaçadas pela erosão e pelas perdas de nutrientes, e permitiu ainda a abertura de novas áreas, principalmente aquelas que se encontravam sob campo nativo. Em 2005, a área cultivada sob plantio direto no mundo era de aproximadamente 97,8 milhões de hectares. Os Estados Unidos da América detinham a maior área cultivada nesse sistema, com 25,3 milhões de hectares (Derpsch, 2005). No Brasil, a partir da década de 1990, houve expansão de forma exponencial da área cultivada sob plantio direto (Febrapdp, 2006), a qual ocupa atualmente 25,5 milhões de hectares (Febrapdp, 2006).

Várias estratégias de manejo são importantes para a condução de culturas no sistema plantio direto. A correção da acidez do solo é o alicerce para a obtenção de boas produtividades, garantindo condições adequadas para o desenvolvimento de culturas em rotação.

Os solos agricultáveis das regiões tropicais podem ser naturalmente ácidos em razão da pobreza do material de origem em cátions básicos, ou por meio de processos de formação ou de manejo que levam à perda de bases gerando acidificação (Quaggio, 2000). Grande parte dos solos agrícolas do Brasil apresentam baixos valores de pH, elevados teores de alumínio e manganês trocáveis, baixa saturação por bases e teores baixos de cálcio e de fósforo (Olmos & Camargo, 1976).

A correção da acidez do solo no sistema de plantio direto é feita por meio de aplicação de calcário na superfície sem incorporação. A ação da calagem, nesse caso, pode se restringir às camadas superficiais do solo. Entretanto, a melhoria das condições químicas do subsolo é importante para o adequado desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a capacidade das plantas em explorar água e nutrientes, principalmente o nitrogênio.

Ritchey *et al.* (1980), Noble *et al.* (1988) e Pavan & Bingham (1988) têm demonstrado a capacidade do gesso agrícola em reduzir a toxicidade do alumínio e aumentar a disponibilidade de Ca^{2+} trocável no subsolo, melhorando o desenvolvimento radicular em profundidade. Da década de 1980 até agora, muitas pesquisas com o uso do gesso agrícola foram desenvolvidas no mundo todo, tendo sido verificado que esse subproduto pode ser promissor em variadas condições de solo e clima, ocasionando melhoria nos atributos químicos do solo, na nutrição mineral das plantas e na produtividade de culturas em rotação.

2.2. Gesso agrícola e efeitos em atributos químicos do solo com a sua aplicação

O gesso agrícola ou fosfogesso é originário da reação do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada, realizada com o fim de se produzir ácido fosfórico. A quantidade de gesso produzida depende da composição da rocha fosfatada, podendo variar de 4,5 (Paolinelli *et al.*, 1986) a 11 toneladas (Robinson *et al.*, 1980) para cada tonelada de H_3PO_4 produzida. Anualmente, cerca de 4,5 milhões de toneladas de gesso são produzidas no Brasil (Vitti, 2000), gerando uma enorme quantidade desse subproduto nas proximidades dos locais de fabricação de ácido fosfórico. Isso é indesejável pelo efeito deletério que é provocado ao ambiente decorrente da alta concentração salina nas áreas adjacentes e do acúmulo de poeira no ar (Oates & Caldwell, 1985). Assim, tornou-se necessário estudar a composição do produto e propósitos para a sua aplicação na agricultura.

O gesso agrícola possui em sua composição cerca de 260 g kg^{-1} de óxido de cálcio e 150 g kg^{-1} de enxofre. Excluindo-se a água, o gesso agrícola contém baixo teor de impurezas,

sendo a parte seca constituída de cerca de 950 g kg^{-1} de sulfato de cálcio dihidratado (Malavolta *et al.*, 1992). Como impurezas, o gesso agrícola contém fósforo e flúor, sendo o primeiro benéfico para a nutrição vegetal e o segundo importante para a complexação de alumínio do solo.

O gesso agrícola não apresenta propriedades de corretivo de acidez do solo (Raij, 1988). Porém, Camargo & Raij (1989), Quaggio *et al.* (1993), Raij *et al.* (1994), Carvalho & Raij (1997) e Caires *et al.* (1999; 2002; 2003; 2004; 2006) mostraram aumento no pH do solo com a aplicação do gesso, principalmente em subsuperfície. Como o gesso é um sal neutro, seu efeito na redução da acidez do solo pode ser explicado pelo mecanismo de “auto-calagem”, envolvendo uma reação de troca de ligantes, na qual a hidroxila (OH^-) é substituída pelo SO_4^{2-} na superfície dos óxidos hidratados de ferro e alumínio, seguida pela precipitação do Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ na solução do solo (Reeve & Sumner, 1972).

A partir de estudos realizados com gesso em casa de vegetação, em colunas de solo (Pavan *et al.*, 1984; Oates & Caldwell, 1985; Nogueira & Mozeto, 1990; Pavan & Roth, 1992), vários mecanismos foram propostos para explicar a diminuição da toxidez do alumínio pelo uso de gesso. O principal deles seria a formação de pares iônicos em solução, como o AlSO_4^+ (Pavan *et al.*, 1984; Sumner *et al.*, 1986). Carvalho & Raij (1997) verificaram redução da atividade do alumínio em solução pelo aumento da força iônica com o fornecimento de gesso.

O gesso agrícola parece ser mais efetivo na redução da toxicidade do alumínio do que o sulfato de cálcio puro pela presença do F^- , um ânion que forma complexos mais estáveis com o alumínio que o sulfato (Oates & Caldwell, 1985; Lindsay 1979, citado por Smith *et al.*, 1994). Carvalho & Raij (1997) verificaram efeitos benéficos da presença do flúor no gesso agrícola na diminuição dos teores de alumínio trocável, em estudo realizado em casa de vegetação. A quantidade de alumínio complexada com flúor foi alta, apesar da concentração desse elemento ser bem menor que a de sulfato. Em um trabalho conduzido em campo por Smith *et al.* (1994), verificou-se aumento de flúor até 5 cm de profundidade com a aplicação de fosfogesso, sem

elevação dos teores do elemento em profundidade. De acordo com Shainberg *et al.* 1989, citados por Smith *et al.* (1994), a efetividade do flúor na detoxificação do alumínio pelo complexo Al-F é improvável no campo porque a maior parte do flúor fica retido na superfície do solo, contribuindo muito pouco para a melhoria do subsolo.

A diminuição da saturação por alumínio é um dos efeitos mais marcantes que ocorre no solo com a aplicação de gesso. Esse efeito é devido tanto ao aumento de Ca quanto à diminuição dos teores de Al, principalmente em camadas do subsolo (Farina & Channon, 1988).

Em casos de solos com baixos conteúdos de alumínio, mas com baixos teores de cálcio, o fornecimento de cálcio é o principal fator responsável pela melhoria do desenvolvimento radicular (Ritchey *et al.*, 1982). Toma *et al.* (1999) e Caires *et al.* (2001a) demonstraram aumento de Ca^{2+} trocável no solo, tanto em camadas superficiais como em profundidade, oriundo da aplicação de gesso. A aplicação de gesso também proporciona grande aumento nos teores de sulfato, principalmente no subsolo (Nogueira & Mozeto, 1990; Quaggio *et al.*, 1993; Raij *et al.*, 1994; Toma *et al.*, 1999).

Em um experimento realizado em campo, após 24 meses da aplicação de gesso agrícola, Caires *et al.* (1998) verificaram que cerca de 60% do S-SO_4^{2-} e 40% do cálcio da dose máxima de gesso aplicada (12 t ha^{-1}) foram lixiviados para camadas abaixo de 80 cm e que 90% do sulfato e 75% do cálcio remanescente foram encontrados nas camadas do subsolo (20-80 cm). Isso demonstra o movimento mais rápido do S-SO_4^{2-} comparado ao cálcio, resultado que concorda com Camargo & Raij (1989) e Quaggio *et al.* (1993).

O íon sulfato, dependendo das propriedades do solo, pode se comportar de diferentes maneiras. Em solos com predominância de cargas elétricas negativas, o sulfato é pouco retido, sendo facilmente lixiviado. Já, em solos com altos teores de óxidos hidratados de ferro e alumínio, o sulfato pode ser adsorvido ao solo por troca iônica ou pelo processo de troca de ligantes (Raij, 1991). A quantidade de enxofre no solo é diretamente proporcional aos teores de argila, óxidos e matéria orgânica, sendo também influenciada pelo pH do solo (Chao *et al.*,

1962). Tanto a quantidade total de enxofre quanto a capacidade de adsorção de S-SO_4^{2-} são menores em solos com baixos teores de argila e sua retenção é ainda diminuída pela aplicação de calcário e de fosfato (Camargo & Raij, 1989). Assim, o sulfato se desloca no solo para as camadas mais profundas, onde pode ser adsorvido por causa de maiores teores de argila, menores teores de matéria orgânica e menores valores de pH (Rheinheimer *et al.*, 2005).

Os efeitos do gesso, quando aplicado em altas doses no solo, podem perdurar por muitos anos. Caires *et al.* (2001a) verificaram aumento de Ca^{2+} trocável em todo o perfil do solo, após 64 meses da aplicação superficial de gesso em um Latossolo Vermelho distrófico textura média. Em outro estudo, Caires *et al.* (2006) obtiveram aumento de cálcio e sulfato no solo após 55 meses da aplicação de gesso em superfície. Toma *et al.* (1999) verificaram efeitos do gesso na movimentação de Ca^{2+} trocável e de S-SO_4^{2-} após 16 anos da aplicação, utilizando dose elevada do produto (35 t ha^{-1} incorporado a 15 cm de profundidade) em um Ultissol argiloso caulinítico.

Sumner 1990, citado por Toma *et al.* (1999), comenta que a aplicação superficial de gesso teve efeito por apenas 5 anos em um perfil de solo arenoso. Portanto, os efeitos em longo prazo do gesso são mais pronunciados em solos de textura mais argilosa. Efeitos pouco duradouros da aplicação do gesso foram obtidos por Quaggio *et al.* (1993), em um Latossolo Vermelho Escuro Endoeutrófico podzólico. Estes autores verificaram que 18 meses após a aplicação de gesso, quase todo o cálcio e sulfato aplicados foram lixiviados para camadas inferiores a 60 cm, restando, nas camadas superiores, substituição parcial de Mg por Ca.

A adição de cálcio e sulfato por meio da aplicação de gesso influencia o balanço de cátions no solo. Nogueira & Mozeto (1990) verificaram aumento de Mg e K solúveis no solo, com a aplicação de gesso, devido ao deslocamento provocado pela adição de cálcio nos sítios de troca. Estes íons formam pares com o sulfato, lixiviando para as camadas mais profundas do solo. Pavan & Roth (1992) relataram que quantidades consideráveis de cátions podem ser perdidas por lixiviação após a aplicação de gesso e, para minimizar essas perdas, deve ser feita a aplicação conjunta de calcário dolomítico. Quaggio *et al.* (1993) observaram que o gesso

provocou perdas consideráveis de Mg da camada arável para as camadas mais profundas do perfil do solo, sendo tais perdas proporcionalmente menores quando o gesso foi aplicado juntamente com calcário dolomítico. Resultados semelhantes também foram encontrados por Silva *et al.* (1997).

A aplicação de gesso, em combinação com a calagem, causa melhoria na distribuição do Mg proveniente do calcário no perfil do solo (Caires *et al.*, 1999) . Porém, dependendo da dose de gesso utilizada e do tempo decorrido de sua aplicação, o gesso pode ocasionar lixiviação muito intensa, reduzindo o teor de Mg^{2+} trocável em todo o perfil do solo, mesmo quando combinado com calcário dolomítico.

A lixiviação de K com a aplicação do gesso também pode ocorrer, dependendo do tipo de solo (Souza & Ritchey, 1986). A calagem pode contribuir para a diminuição na lixiviação de K, mas não elimina o efeito propiciado pelo gesso. Destaca-se, porém, que a lixiviação de K tem sido bem menos pronunciada que a lixiviação de Mg nos solos (Quaggio *et al.*, 1993; Raij *et al.*, 1994; Silva *et al.*, 1997; Caires *et al.*, 2004; 2006).

O gesso agrícola é uma excelente fonte de enxofre às plantas, aspecto importante tendo em vista que em várias áreas de cultivo intensivo a adubação com enxofre não vem sendo realizada por causa do uso constante de adubos concentrados, como por exemplo o fosfato monoamônico, fosfato diamônico, uréia e superfosfato triplo, que não contêm enxofre em suas composições. O uso de formulações concentradas pode acarretar em diminuição nos teores de enxofre no solo com o tempo, devida à extração do nutriente pelas culturas e às perdas de $S-SO_4^{2-}$ por lixiviação. Com isso, a falta de enxofre pode acarretar em deficiências nas culturas (Ribeiro *et al.*, 2001).

Os métodos de extração do íon sulfato no solo ainda não são consensuais devido a sua complexidade de ligação a diferentes frações do solo. O enxofre se encontra nas formas orgânica e inorgânica nos solos, sendo a forma orgânica predominante, podendo representar mais de 90% do total (Tabatabai & Bremner, 1972; Nascimento & Morelli, 1980; Srinivasarao *et al.*, 2004).

A extração de sulfato no solo pode ser feita com água, com soluções salinas ou com fosfatos (Reisenhauer *et al.*, 1973). Para solos de regiões tropicais, a preferência é por soluções de fosfatos, principalmente $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, que permite a obtenção de extratos límpidos (Raij, 1991). A solução de acetato de amônio em ácido acético também tem sido utilizada (Fox *et al.*, 1964), apresentando resultados satisfatórios.

A solução de fosfato de cálcio extrai mais o SO_4^{2-} adsorvido aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al do que o sulfato ligado à fração orgânica do solo, considerando que o fosfato possui maior afinidade para a adsorção do que o sulfato (Ribeiro *et al.*, 2001). Já, a solução de acetato de amônio tem sido utilizada porque a adsorção do ânion acetato é similar à adsorção de sulfato nos solos. A solução extratora constituída de acetato de amônio (NH_4OAc $0,5 \text{ mol L}^{-1}$) em ácido acético (HOAc $0,25 \text{ mol L}^{-1}$) extrai o enxofre solúvel, o adsorvido e parte do enxofre ligado à fração orgânica (Fox *et al.*, 1964).

A capacidade diferenciada que os solos apresentam para adsorver íons sulfato influencia na escolha do extrator. Para solos com baixa capacidade de adsorção de sulfato, o extrator que apresentou melhor correlação com a absorção de S pelas plantas foi a solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$; no caso de solos com média capacidade de adsorção de sulfato, melhor correlação com a absorção de S pelas plantas foi obtida com a solução de NH_4OAc $0,5 \text{ mol L}^{-1} + \text{HOAc}$ $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ e, para solos com alta capacidade de adsorção de sulfato, os melhores extratores foram as soluções de NH_4OAc $0,5 \text{ mol.L}^{-1} + \text{HOAc}$ $0,25 \text{ mol.L}^{-1}$ e $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ com $500 \text{ mg P L}^{-1} + \text{HOAc}$ 2 mol L^{-1} (Ribeiro *et al.*, 2001).

Além do fornecimento de cálcio e enxofre, incrementos de fósforo no solo podem ocorrer com aplicações de doses elevadas de gesso. O gesso agrícola apresenta em seu conteúdo, cerca de 6 g kg^{-1} de fósforo (Paolinelli *et al.*, 1986). Esse elemento é considerado uma impureza importante no produto, pois pode melhorar a nutrição vegetal, como constatado por Sumner *et al.* (1986). Caires *et al.* (2003) observaram que o aumento de P (Mehlich-1) na camada superficial

do solo (0-5 cm) com a aplicação de gesso proporcionou aumento na concentração de P no tecido foliar da soja.

2.3. Efeitos do gesso em culturas anuais

Os primeiros trabalhos realizados com a aplicação de fosfogesso evidenciaram aumento na produção das culturas em decorrência de melhoria das condições químicas do subsolo, principalmente por meio de detoxificação do alumínio e fornecimento de cálcio (Ritchey *et al.*, 1980; Oates & Caldwell, 1985; Noble *et al.*, 1988). A melhoria da fertilidade do subsolo ocasiona benefícios ao crescimento radicular e à absorção de água e nutrientes pelas plantas, favorecendo a produção das culturas.

As primeiras recomendações de necessidade de gesso levavam em consideração os teores de Al^{3+} e de Ca^{2+} trocáveis, e a saturação por Al^{3+} em camadas do subsolo (Lopes, 1986). Desde o trabalho pioneiro de Ritchey *et al.* (1980), são observadas na literatura respostas positivas de gramíneas à aplicação de gesso. A cultura do milho é a que tem apresentado com maior frequência aumentos na produção de grãos em resposta à aplicação de gesso. Toma *et al.* (1999) obtiveram aumento na biomassa total e na produção de grãos de milho em dois experimentos, após 16 e 15 anos da aplicação de 35 e 10 t ha⁻¹ de gesso, respectivamente, em um Ultissol da Georgia (EUA). Esse incremento na produção de milho foi atribuído à melhoria das condições químicas do subsolo, as quais favoreceram o crescimento do sistema radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

No sistema plantio direto, Caires *et al.* (1999; 2004) também observaram aumento na produção de milho com a aplicação de gesso em um Latossolo Vermelho distrófico. No primeiro estudo realizado em solo de textura média (Caires *et al.*, 1999), o milho respondeu de forma quadrática, sendo o aumento na produção associado com o aumento de Ca^{2+} trocável e da relação Ca/Mg proporcionado pelo uso de gesso. No outro estudo realizado em solo argiloso (Caires *et al.*, 2004), houve aumento na produção de grãos de milho da ordem de 17% com a

aplicação de gesso na presença de calagem, o qual esteve relacionado com o aumento da saturação por Ca^{2+} na camada superficial do solo. Nesse estudo, também não foram verificadas diferenças no crescimento radicular do milho com a adição de gesso.

As gramíneas de inverno (trigo, cevada, centeio) também têm se mostrado responsivas à aplicação de gesso. Em um experimento realizado em casa de vegetação, verificou-se aumento de 15% na produção de biomassa de cevada com o uso de gesso (Matula & Pechová, 2007). Caires *et al.* (2001a) obtiveram aumento linear na produção de grãos de cevada em função de doses de gesso aplicadas em sistema plantio direto, o qual foi correlacionado com o aumento de Ca^{2+} trocável, da relação Ca/Mg e de sulfato disponível no solo.

O trigo tem apresentado respostas positivas ao cálcio aplicado (Adcock *et al.*, 2001; Breenan *et al.*, 2007) e ao fornecimento de enxofre (Ganeshamurthy & Takkar, 1997; Sharma *et al.*, 2007). Aumentos substanciais na produção de trigo têm sido obtidos tanto pela melhoria do ambiente radicular (diminuição da toxicidade de Al), como pelo fornecimento de cálcio e enxofre com a aplicação de gesso (Caires *et al.*, 2002). A toxidez por alumínio afeta o crescimento nas células das raízes de trigo, aumentando o conteúdo de pectina e hemicelulose na parede celular (Hossain *et al.*, 2005). Thomas *et al.* (1995) obtiveram aumento de 15% na produção de trigo com a melhoria do subsolo proporcionada pela adição de gesso.

Sousa *et al.* 1985, citado por Sousa *et al.* (1992), obtiveram aumento de 50% na produção de grãos de trigo com a aplicação de gesso em condições adequadas de umidade no solo. Em plantio direto, há trabalhos mostrando desde ausência de resposta do trigo à aplicação de gesso, (Caires *et al.*, 1999) até aumento quadrático na produção de grãos (Caires *et al.*, 2002), com a máxima produção obtida com a dose de $8,2 \text{ t ha}^{-1}$. No estudo conduzido por Caires *et al.* (2002), os níveis de alumínio no solo não eram tóxicos e o incremento na produção de trigo ocorreu devido ao fornecimento de cálcio e enxofre pelo uso do gesso.

Dentro de um sistema de rotação de culturas, a sucessão trigo-soja maximiza a produção de grãos, sendo recomendada e bastante utilizada no sistema plantio direto (Franchini, 2007). A

cultura da soja é uma leguminosa que merece destaque, dada à sua importância econômica nos sistemas de produção agrícola. Em trabalhos pioneiros sobre o mecanismo de ação do gesso em casa de vegetação, utilizando a soja como planta teste, foram obtidas diversas respostas positivas, indicando que o uso do produto poderia ser promissor em condições de campo (Oates & Caldwell, 1985; Noble *et al.*, 1988).

Oates & Caldwell (1985) obtiveram maior crescimento da planta e produção de fitomassa de soja com a adição de gesso. Noble *et al.* (1988) observaram maior crescimento radicular da soja em solo tratado com gesso devido à melhoria no balanço iônico entre Ca^{2+} e Al^{3+} e à diminuição das espécies monoméricas de Al^{3+} . Raij *et al.* (1994) observaram resposta positiva da soja à aplicação de gesso agrícola, embora o aumento na produção tenha sido de pequena magnitude. O experimento foi realizado em sistema convencional de preparo em um Latossolo Roxo distrófico contendo altos teores de sulfato adsorvido.

As leguminosas são importantes produtoras de proteína, absorvendo grandes quantidades de S do solo. Nessas condições, o uso de gesso agrícola pode aumentar a produção de culturas como a soja, pelo fornecimento de S (Mascarenhas *et al.*, 1986). Aumento na produção de soja foi obtido com a aplicação de sulfato (até 80 kg ha^{-1}) via gesso para a sucessão trigo-soja num Vertissolo (Typic Haplustert) da região semi-árida da Índia que não vinha recebendo adubação com enxofre (Ganeshamurthy & Takkar, 1997). Em outro estudo, o fornecimento de S, além de promover aumento na produção de massa seca e no número de nódulos totais e ativos, ainda promoveu aumento na produção de grãos de soja (Ganeshamurthy & Sammy Reddy, 2000). Aumento na produção de biomassa e na produção de grãos de soja com a aplicação de 15 kg ha^{-1} de S via gesso em quatro solos dos pampas argentinos também foi obtido por Boem *et al.* (2007). Saha *et al.* (2001) observaram que além do aumento na produção, o S adicionado ocasionou aumento na concentração de aminoácidos sulfurados nos grãos de soja. Estudos conduzidos em solos brasileiros mostraram que a aplicação de até 80 kg ha^{-1} de S não alterou a produção e não causou alteração na concentração de S nas folhas de soja (Anghinoni *et al.*, 1976). Vitti &

Malavolta (1985) notaram efeitos positivos da utilização de 15 a 50 kg ha⁻¹ de S na forma de gesso agrícola em várias culturas. A maior dose foi usada em solos arenosos, em geral pobres em matéria orgânica.

Entretanto diversos trabalhos realizados em sistema convencional de preparo do solo (Quaggio *et al.*, 1993; Nogueira & Melo, 2003) e em sistema plantio direto (Caires *et al.* 1998; 1999; 2001b; 2003; 2006) têm mostrado ausência de resposta da soja à aplicação do gesso, e até pequenos decréscimos na produção de grãos da cultura com o emprego de altas doses de gesso causados pela lixiviação de Mg²⁺ trocável no solo (Caires *et al.*, 1998). É possível que a soja apresente maior exigência ao magnésio presente nas camadas superficiais do solo e menor habilidade em aproveitar esse nutriente do subsolo (Caires *et al.*, 1999).

O crescimento radicular da soja cultivada na ausência de déficit hídrico em sistema plantio direto não tem sido influenciado pela redução da saturação por alumínio no subsolo proporcionada pela aplicação de gesso (Caires *et al.*, 2001b). Mesmo assim, a adição de gesso tem proporcionado aumento nos teores de nutrientes, principalmente Ca e S, no tecido foliar da soja (Caires *et al.*, 2001b; 2003) e melhoria na qualidade do produto decorrente de maior concentração de macronutrientes nos grãos e de maior produção de proteína (Caires *et al.*, 2006).

A cultura do trigo tem mostrado respostas bem mais acentuadas à aplicação de gesso do que a cultura da soja, fato que necessita ser mais bem esclarecido. Esse comportamento diferenciado das culturas à adição de gesso em sistema plantio direto dificulta a definição de critérios para a recomendação do produto. Além disso, o comportamento da soja transgênica frente às alterações químicas do solo proporcionadas pela aplicação de gesso é desconhecido. A realização de estudos de longa duração com a aplicação de gesso para avaliar o comportamento das culturas em rotação no sistema plantio direto e o seu efeito residual no solo é de fundamental importância para se definir critérios para a sua recomendação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa – PR, na Fazenda Regina, cujas coordenadas geográficas são 25° 08' 50'' de latitude sul, 50° 06' 20'' de longitude oeste e altitude de 819 m.

3.2. Caracterização física e química do solo

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa que vinha sendo utilizado para pastagem. Antes da instalação do experimento foram determinados: pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, acidez potencial (H+Al) pelo método de tampão SMP, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} extraídos por KCl 1 mol L⁻¹, P disponível e K^+ trocável extraídos por Mehlich 1, carbono orgânico pelo método de Walkley-Black (Pavan *et al.*, 1992) e enxofre (S-SO_4^{2-}) extraído por acetato de amônio 0,5 mol L⁻¹ em ácido acético 0,25 mol L⁻¹ (Vitti & Suzuki, 1978). Também foram determinados os teores de areia, silte e argila conforme os métodos da Embrapa (1997). Os resultados das análises químicas e granulométricas do solo estão apresentados na Tabela 1.

A camada superficial do solo apresentava alta acidez (Tabela 1), concentrações muito baixas de P, baixo teor de Al^{3+} trocável e teores suficientes de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis. O

subsolo apresentava acidez muito alta, teor tóxico de Al^{3+} trocável, alta saturação por Al^{3+} e baixo teor de Ca^{2+} trocável (Iapar, 1978).

TABELA 1. Resultados de análises químicas e granulométricas do solo antes da instalação do experimento em 1998

Profun- didade	pH (CaCl_2)	H+Al	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	P	C	S- SO_4^{2-}	V ²	m ³	Areia	Silte	Argila
cm		-----mmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	---%---		-----g kg ⁻¹ -----		
0-20	4,6	77,6	3	25	20	3,6	0,3	31	4,7	38	6	290	130	580
20-40	4,2	97,0	8	7	8	2,2	0,1	21	8,7	15	32	300	100	600
40-60	4,2	83,6	8	4	8	1,5	0,1	14	4,4	14	37	280	100	620
60-80	4,2	72,0	8	4	4	1,2	0,1	10	2,2	11	46	270	89	640

²V = Saturação por bases. ³m = saturação por alumínio.

Em julho de 1998, antes da instalação do experimento, realizou-se aplicação de 4,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, com 89% de poder relativo de neutralização total (PRNT), na superfície, sem incorporação. A dose de calcário aplicada foi calculada visando elevar a saturação de bases do solo a 70%, na camada de 0–20 cm de profundidade.

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas, com 56,0 m², receberam quatro doses de gesso (0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹) na superfície em outubro de 1998. A maior dose de gesso utilizada (9 t ha⁻¹) apresenta equivalência em cálcio com a dose de calcário empregada para a correção da acidez do solo. Em setembro de 2004, as parcelas foram divididas em duas subparcelas de 28,0 m², sem e com a reaplicação superficial de 6 t ha⁻¹ de gesso. A dose utilizada na replicação de gesso foi calculada objetivando elevar a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo, na camada de 0–20 cm, para cerca de 4,0. As relações $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ dessa camada de solo, em maio de 2004, eram de 1,6, 1,6, 2,1 e 2,0, nas doses 0, 3, 6 e 9 t ha⁻¹ de gesso, respectivamente. O gesso agrícola continha 235 g kg⁻¹ de Ca, 153 g kg⁻¹ de S, 3 g kg⁻¹ de P e 156 g kg⁻¹ de água. Por ocasião da replicação de gesso em 2004, o solo apresentava baixa acidez e teores não tóxicos de Al^{3+} trocável em todo o perfil do solo

(Tabela 2) em decorrência da ação da calagem superficial realizada antes da instalação do experimento em 1998.

TABELA 2. Resultados de análises químicas do solo antes da reaplicação do gesso em 2004

Profundidade	pH (CaCl ₂)	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P ¹	C	V ²	m ³
cm		-----mmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
Sem aplicação de gesso										
0-5	6,0	33,5	0	51	28	5,4	4,6	27	72	0
5-10	5,2	54,9	0	30	14	2,4	2,1	20	47	0
10-20	4,8	65,3	2	15	13	2,0	0,9	18	32	6
20-40	4,7	68,6	4	10	11	1,4	0,8	14	25	14
40-60	4,7	59,1	2	7	8	0,9	0,6	12	22	12
Com 3 t ha ⁻¹ de gesso em 1998										
0-5	6,0	34,3	0	56	30	5,2	3,4	30	73	0
5-10	5,2	53,6	0	30	20	2,5	4,9	22	50	0
10-20	4,8	68,6	2	15	11	1,8	0,9	19	29	7
20-40	4,8	63,7	3	17	8	1,6	0,6	17	29	10
40-60	4,8	60,6	1	12	11	1,0	0,4	14	28	4
Com 6 t ha ⁻¹ de gesso em 1998										
0-5	5,9	36,3	0	59	19	4,8	3,8	30	70	0
5-10	5,0	59,1	0	28	15	1,9	0,9	20	43	0
10-20	4,6	70,3	4	17	10	1,5	0,9	19	26	15
20-40	4,7	65,3	4	13	10	1,6	0,6	15	28	13
40-60	4,8	46,3	2	13	8	0,8	0,4	12	31	10
Com 9 t ha ⁻¹ de gesso em 1998										
0-5	6,1	30,4	0	64	28	4,5	7,9	27	76	0
5-10	5,4	52,2	0	34	22	2,6	1,5	19	53	0
10-20	4,8	66,9	3	30	18	1,9	1,0	19	43	5
20-40	4,9	59,3	2	17	12	1,7	1,5	18	35	7
40-60	5,0	58,0	1	17	8	1,2	0,7	14	32	5

¹P extraído com solução de Mehlich-1. ²V = Saturação por bases. ³m = saturação por alumínio.

3.4. Sucessão de culturas

A sucessão de culturas e os cultivares empregados nos anos agrícolas após a instalação do experimento estão relacionados na tabela 3. Nos anos de 2001 até 2004 a área experimental se manteve em pousio durante o período de inverno. Os cultivos com soja foram realizados em novembro de cada ano (1998, 1999, 2000, 2002 e 2003), na densidade de 20 sementes por metro

e espaçamento de 0,45 m entre as linhas, sendo as sementes inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*.

TABELA 3. Sucessão de culturas e quantidades de N, P₂O₅ e K₂O aplicadas de 1998 a 2006 na área experimental

Ano agrícola	Cultura	Cultivar ou Híbrido	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			-----kg ha ⁻¹ -----		
1998-1999	Soja	FT 5	0	75	75
1999	Cevada	BR 2	75	92	0
1999-2000	Soja	FT ABYARA	0	60	60
2000	Trigo	OR 1	130	66	90
2000-2001	Soja	EMBRAPA 133	0	60	60
2001-2002	Milho	DEKALB 215	78	120	90
2002-2003	Soja	COODETEC 206	0	60	60
2003-2004	Soja	EMBRAPA 133	0	60	60
2004-2005	Milho	DOW 2A120	135	122	87

Os cultivos com milho em cada ano (2001 e 2004) foram realizados em outubro, na densidade de cinco sementes por metro e espaçamento de 0,80 m entre as linhas. A cevada e o trigo foram cultivados durante o inverno, sendo semeados em junho de cada ano (1999 e 2000), na densidade de 40 sementes por metro e espaçamento de 0,17 m entre as linhas.

No presente estudo foram avaliados os efeitos dos tratamentos com gesso na nutrição e na produção de trigo, cv. OR-1, cultivado no inverno de 2005, e de soja, cvs. BRS 154 e CD 214 RR, cultivada nos anos agrícolas de 2005-2006 e 2006-2007, respectivamente.

3.5. Informações sobre os cultivares de trigo e soja

3.5.1. Trigo OR 1

- **Características agronômicas do cultivar**

O cultivar de trigo OR 1 apresenta ciclo médio no estado do Paraná, levando em média 76 dias até o espigamento e maturação média de 119 dias. O hábito vegetativo é semi-ereto, chegando a cerca de 80 cm de altura. O formato das espigas é fusiforme e oblonga e a maioria

delas apresenta coloração clara. É um cultivar considerado resistente ao acamamento, moderadamente resistente à germinação natural do grão na espiga e susceptível à debulha natural. A coloração dos grãos é avermelhada e a sua textura é semi-dura. O peso hectolítrico médio é de 78 kg. Esse cultivar é moderadamente tolerante ao Al e susceptível à ferrugem da folha (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), giberela (*Gibberella zeae*), oídio (*Blumeria graminis*), helmintosporiose (*Drechslera tritici-repentis*) e vírus do mosaico (*Polymyxa graminis*) (Iapar, 2001).

- **Informações sobre a semeadura e tratos culturais**

A semeadura do trigo foi realizada no dia 02/07/2005, na densidade de 60 sementes por metro e espaçamento de 0,17 m entre as linhas. A adubação utilizada na semeadura foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 6-27-20 (N-P₂O₅-K₂O). No estágio de perfilhamento foi realizada adubação nitrogenada de cobertura utilizando-se 80 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de amônio.

Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura. Como dessecante foi utilizado o glyphosate na dose de 1200 g de ingrediente ativo por hectare (i.a. ha⁻¹). No dia da semeadura as sementes e trigo foram tratadas com imidacloprid e triadimenol nas doses de 35 g i.a. e 40 g i.a. por 100 kg de sementes, respectivamente. Foi efetuado controle de lagartas e pulgões por meio da aplicação permetrina, 50 g i.a. ha⁻¹. Para o controle de oídio, ferrugem e manchas foliares foram aplicados propiconazole + cyproconazole na dose de 125 g i.a. ha⁻¹ e 50 g i.a. ha⁻¹, respectivamente e epoxiconazole + pyraclostrobin na dose de 50 g i.a. ha⁻¹ e 133 g i.a. ha⁻¹, respectivamente.

3.5.2. Soja BRS 154

- **Características agronômicas do cultivar**

O cultivar de soja BRS 154 apresenta ciclo médio, com maturação média de 134 dias. O hábito de crescimento é determinado, chegando a cerca de 80 cm de altura. As vagens possuem

coloração marrom e a flor é branca. A coloração do grão é amarela brilhante e a massa de 1000 sementes normalmente atinge 194 g. Possui resistência moderada ao acamamento. É resistente ao cancro da haste (*Phomopsis phaseoli* f.sp. *meridionalis*), podridão parda da haste (*Phialophora gregata*), mancha olho de rã (*Cercospora sojina*), pústula bacteriana e oídio (*Microsphaera diffusa*), sendo suscetível ao crestamento bacteriano (*Xantomonas campestris* pv. *glycines*) (Embrapa, 2006).

- **Informações sobre a semeadura e tratos culturais**

A semeadura da soja, cultivar BRS-154 foi realizada no dia 01/12/2005, na densidade de seis sementes por metro e espaçamento de 0,17 m entre as linhas. A adubação utilizada na semeadura foi de 225 kg ha⁻¹ na fórmula 02-20-20 (N-P₂O₅-K₂O). As sementes foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum*. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as necessidades da cultura. Para o controle de plantas daninhas de folha estreita utilizou-se fenoxaprop-p-ethyl, 88 g.i.a ha⁻¹ e para o controle de plantas daninhas de folha larga foram utilizados: lactofen 0,15 g i.a. ha⁻¹, cloransulam-methyl, 40 g i.a. ha⁻¹ e imazethapyr, 100 g i.a. ha⁻¹. Foi aplicado triflumuron 14,4 g i.a. ha⁻¹ para o controle de lagartas. Foram utilizados os fungicidas: fluquinconazol, 62 g i.a. ha⁻¹, tebuconazole, 150 g i.a. ha⁻¹ e carbendazim, 250 g i.a. ha⁻¹ para o controle de oídio, ferrugem e doenças de final de ciclo.

3.5.3. Soja CD 214 RR

- **Características agronômicas do cultivar**

O cultivar de soja CD 214 RR pertence ao grupo de cultivares de soja resistentes ao herbicida glyphosate. Nesse caso, a tolerância ao herbicida foi obtida pela inserção de um gene (AroA) oriundo do genoma da *Agrobacterium* sp., estirpe CP4, a qual codifica uma variante da EPSPs (CP4 EPSPs), especialmente tolerante à inibição pelo glyphosate (Padgett *et al.*, 1995, citados por Santos *et al.*, 2007). Sob tratamento com esse herbicida, as plantas de soja não são

afetadas, em virtude da ação continuada e sistemática dessa enzima alternativa, insensível ao produto.

A soja CD 214 RR é enquadrada no grupo de maturação precoce, apresentando ciclo total de 117 dias, sendo a duração média do ciclo vegetativo de 55 dias. O hábito de crescimento é determinado, com altura aproximada de 80 cm. Apresenta flores de cor branca, vagens de pubescência cinza e hilo marrom claro. O peso de 1000 sementes é de aproximadamente 140 g. É resistente ao cancro da haste (*Phomopsis phaseoli* f.sp. *meridionalis*) e mancha olho de rã (*Cercospora sojina*), sendo susceptível ao oídio (*Microsphaera diffusa*). É eficiente e reponsiva na utilização da adubação (Coodetec, 2007).

- **Informações sobre a semeadura e tratos culturais**

A semeadura da soja, CD 214 RR foi efetuada no dia 24/11/2006, na densidade de cinco sementes por metro espaçadas em 0,17 m entre as linhas. A adubação de base foi realizada a lanço antes da semeadura na dose de 250 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-20 (N-P₂O₅-K₂O). As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura. Para o controle de plantas daninhas foi feita a aplicação de glyphosate na dose de 960 g i.a. ha⁻¹. Para o controle de lagartas, efetuaram-se duas aplicações de triflumurom, 14,4 g i.a. ha⁻¹ e, para o controle de doenças, trifloxystrobin + ciproconazole na dose de 75 g i.a. ha⁻¹ e 32 g i.a. ha⁻¹.

3.6. Condições climáticas

O clima da região, conforme a classificação de Köppen é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico (tipo Cfb), apresentando temperaturas amenas no verão e ocorrência de geadas severas no inverno. A precipitação pluvial histórica anual (média de 45 anos) é de 1550 mm, distribuída em chuvas mais intensas nos meses de dezembro a março (verão) e menos intensas nos meses de junho a agosto, sem a ocorrência de estação seca definida (Iapar, 2005).

Durante a permanência da cultura do trigo no campo (Figura 1) ocorreu excesso de chuvas (precipitação pluvial total de 807,2 mm), especialmente no final do ciclo, condição favorável ao desenvolvimento de doenças da espiga, como por exemplo a giberela (*Gibberella zeae*), que diminui o peso dos grãos e sua qualidade. Para a soja cultivada em 2005–2006, a precipitação pluvial esteve um pouco abaixo da média histórica da região, porém sem prejudicar o desenvolvimento da cultura.

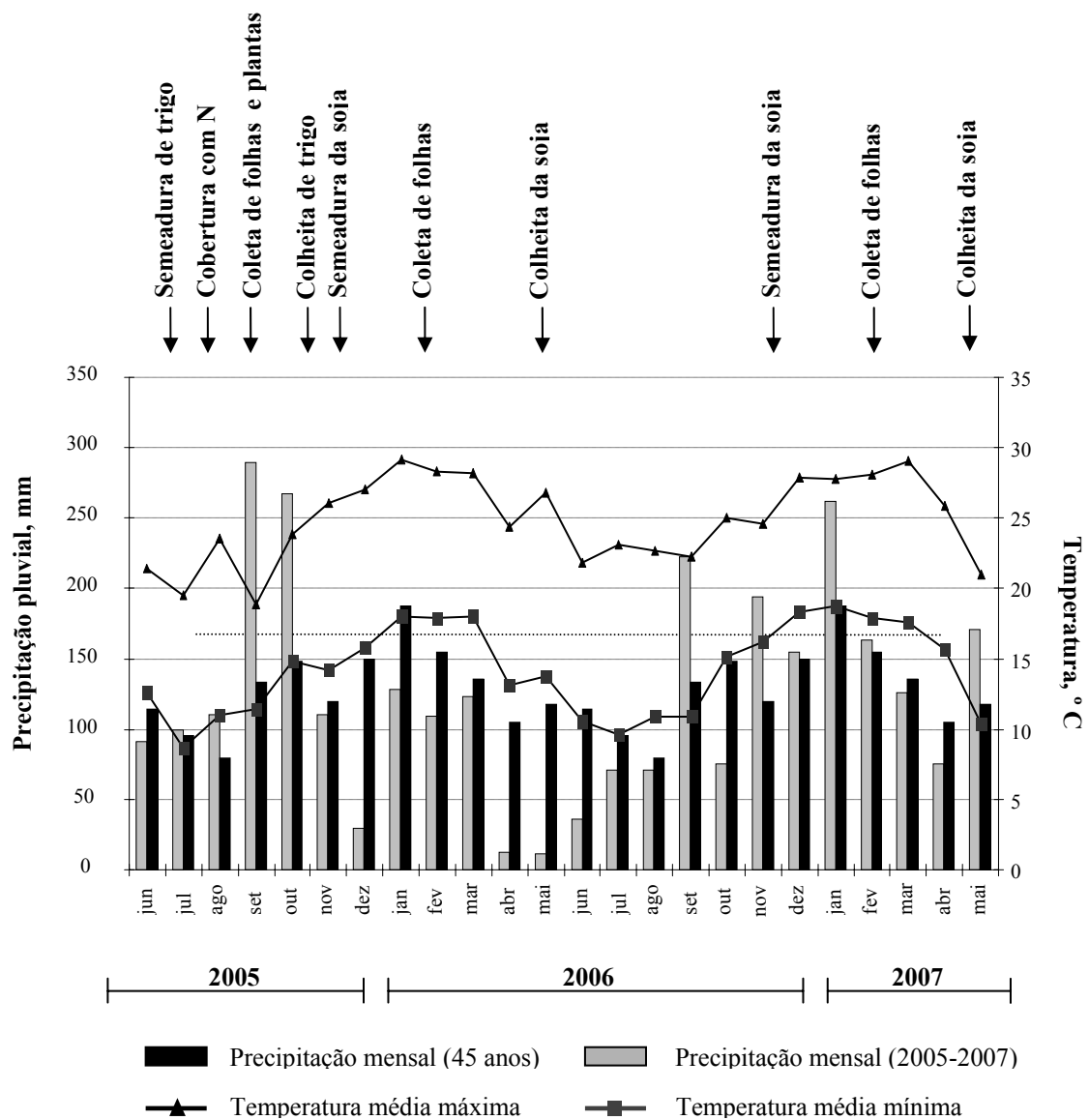


Figura 1. Dados climáticos da região de Ponta Grossa, PR. Precipitação pluvial média mensal da região em 45 anos, precipitação pluvial média mensal ocorrida durante a realização do experimento (maio de 2005 a maio de 2007) e temperaturas médias, máximas e mínimas ocorridas no mesmo período (Iapar, 2007).

3.7. Avaliações

3.7.1. Produção de matéria seca e análises químicas das plantas de trigo

No florescimento da cultura do trigo retirou-se 1 m de plantas na linha de semeadura, somente parte aérea, por subparcela, as quais foram secas em estufa a 60° C e pesadas para a determinação da produção de matéria seca. Após, as plantas foram moídas para a determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S, conforme os métodos descritos em Malavolta *et al.* (1997). A determinação do N foi realizada por meio de digestão sulfúrica com posterior destilação em aparelho Kjeldahl e titulação com solução de ácido sulfúrico. Os teores de Ca, Mg, S, P e K, foram determinados por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura por espectrofotometria de absorção atômica para Ca e Mg, por turbidimetria do sulfato de bário para S, colorimetria do metavanadato para P e fotometria de chama de emissão para K. Os resultados de produção de matéria seca e de concentração de nutrientes na parte aérea foram utilizados para calcular a extração de nutrientes pela parte aérea do trigo.

3.7.2. Análises químicas do tecido foliar do trigo

No florescimento da cultura de trigo foram retiradas 30 folhas bandeira por subparcela. Essas amostras foram lavadas em água desionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C até atingir massa constante. Depois de secas, as amostras foram moídas e armazenadas em recipientes plásticos até a realização das análises. Foram determinados os teores de nutrientes segundo os métodos propostos por Malavolta *et al.* (1997).

3.7.3. Análises químicas do tecido foliar de soja

Por ocasião do florescimento da soja, nos dois cultivos, foram retiradas 30 folhas por subparcela, sendo o terceiro trifólio a partir do ápice das plantas. As folhas foram lavadas em

água desionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60° C até atingir massa constante. Posteriormente, as amostras foram moídas e acondicionadas em recipientes plásticos até a realização das análises químicas de acordo com os métodos descritos em Malavolta *et al.* (1997).

3.7.4. Produção de grãos

A avaliação do rendimento de grãos foi realizada por meio de colheita manual e trilhagem em máquina debulhadora estacionária, sendo feita a correção do teor de água para 130 g kg⁻¹. Na cultura do trigo colheu-se uma área útil de 10 m² por subparcela e, nas culturas de soja, a área colhida foi de 8 m².

3.7.5. Análises de solo

Amostras de solo foram coletadas após a colheita da soja em 2006 (7,5 anos após as doses de gesso aplicadas em 1998 e 1,5 ano após a reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso em 2004). Retiraram-se 12 subamostras por subparcela para compor uma amostra composta das camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 cm, e cinco subamostras para as camadas de 20–40 e 40–60 cm de profundidade. As amostras até 20 cm foram retiradas com trado calador, e aquelas de 20 a 60 cm, com trado holandês.

As amostras foram secas em estufa a 40 °C, moídas e passadas em peneira de malha 2 mm. Nessas amostras determinaram-se o pH (em água e em soluções de KCl 1 mol L⁻¹ e de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) na proporção 1:2,5 (v/v). A partir dos valores de pH medidos em solução de KCl 1 mol L⁻¹ e em água, foram calculados os valores de ΔpH, índice dado por: ΔpH = pH KCl - pH H₂O (Mekaru & Uehara, 1972). Também foram determinados a acidez potencial (H+Al), pelo método do tampão SMP, os teores de Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos por KCl 1 mol L⁻¹, de P disponível e K⁺ trocável extraídos por Mehlich 1, de carbono orgânico pelo método de Walkley-Black (Pavan *et al.*, 1992) e de S-SO₄²⁻ extraído por acetato de amônio 0,5 mol L⁻¹ em ácido

acético $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ (Vitti & Suzuki, 1978) e por fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Cantarella & Prochnow, 2001).

3.7.6. Análises estatísticas

Os resultados obtidos em função das doses e da reaplicação de gesso foram submetidos às análises de variância e de regressão. As doses de gesso aplicadas em 1998 foram avaliadas por regressão polinomial e os efeitos da reaplicação de gesso em 2004 foram comparados pelo teste F. As análises estatísticas foram executadas por meio de software SAEG, descrito em Ribeiro Junior (2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos resultados da análise química do solo, nas cinco profundidades estudadas, não mostrou interação significativa entre doses e reaplicação de gesso. A ausência de interação sugere que as modificações nos atributos químicos do solo, dependendo das doses de gesso aplicadas em 1998, foram semelhantes, na presença ou ausência da reaplicação de gesso na superfície em 2004.

4.1 Efeito das doses de gesso aplicadas em 1998 nos atributos químicos do solo

- **Acidez do solo, Δ pH e carbono orgânico**

O solo apresentou baixa acidez, tendo valores de pH em $\text{CaCl}_2 \geq 5,0$ em todo o perfil (Tabela 4). Isso ocorreu devido à ação do calcário aplicado na superfície em 1998. Ao longo dos anos, a calagem superficial proporcionou correção da acidez nas camadas superficiais e do subsolo, conforme também verificado em outros trabalhos (Chaves *et al.*, 1984; Pavan, 1994; Oliveira & Pavan, 1996; Caires *et al.*, 1998; Caires *et al.*, 2000). Comparando-se o pH do solo nessa época com aquele existente antes da reaplicação de gesso (Tabela 2), verifica-se que houve uma pequena diminuição no pH da camada superficial do solo (0–5 cm), de 6,2 para 5,8. Essa acidificação deve ter sido ocasionada pela adição de nitrogênio nas gramíneas cultivadas na área (milho em 2004–2005 e trigo em 2005) e pela mineralização da matéria orgânica do solo. A

acidificação é gerada por meio da produção de H^+ durante a oxidação de NH_4^+ a NO_3^- por meio de microorganismos nitrificantes, acompanhada de lixiviação de cátions básicos pela formação de pares iônicos com o NO_3^- (Helyar & Porter, 1989).

TABELA 4. Valores de pH em $CaCl_2$, em água e em KCl, ΔpH e teores de carbono orgânico, em diferentes profundidades do solo, após 7,5 anos da aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto

$\hat{Y}$	Unidade	Profundidade	Equação de regressão
		cm	
pH em $CaCl_2$		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 5,8$
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 5,5$
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 5,0$
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 5,0$
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 5,0$
pH em água		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 6,5$
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 6,1$
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 5,6$
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 5,5$
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 5,4$
pH em KCl		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 5,6$
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 5,3$
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 4,8$
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 4,8$
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 4,8$
ΔpH		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = -0,9$
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = -0,8$
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = -0,8$
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = -0,7$
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = -0,6$
C- orgânico	$mg\ dm^{-3}$	0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 26,9$
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 22,5$
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 20,6$
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 19,7$
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 16,9$

O pH em CaCl_2 do solo variou de 5,8 (0–5 cm) a 5,0 (40–60 cm) no perfil e não foi influenciado pelas doses de gesso aplicadas em 1998 (Tabela 4). Aumento no pH em CaCl_2 do subsolo com a aplicação de gesso tem sido observado em vários trabalhos (Raij *et al.*, 1994; Shamshuddin & Ismail, 1995; Caires *et al.*, 1999, 2002, 2006). Tal efeito tem sido atribuído à adsorção de sulfato na superfície de óxidos hidratados de ferro e alumínio, promovendo troca de ligantes e liberando OH^- (Reeve & Sumner, 1972). Destaca-se que o aumento no pH do subsolo com a aplicação de gesso tem sido de pequena magnitude – de até 0,2 unidade (Caires *et al.*, 2002, 2003, 2004, 2006), e que esse efeito não permanesse após longo período da adição de gesso na superfície (Garbui, 2006).

O pH em água e em KCl, o ΔpH e os teores de C-orgânico não foram alterados após 7,5 anos da aplicação de gesso na superfície (Tabela 4). Trabalhando com várias amostragens em um Ultissol da África do Sul, Farina & Channon (1988) verificaram que o pH em água aumentou marcadamente na zona de máxima sorção/precipitação de sulfato, mas não houve modificação no pH em KCl. Os valores de ΔpH foram negativos em todo o perfil estudado (0–60 cm), indicando que o solo apresenta carga líquida negativa, certamente devido ao elevado teor de C-orgânico.

- **Saturação por Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$**

As doses de gesso aplicadas em 1998 não influenciaram os teores de Al^{3+} trocável do solo após 7,5 anos, nas cinco profundidades estudadas. Os teores médios de Al^{3+} trocável obtidos nessa época foram 0; 0,8; 3,0; 2,7 e 3,0 $\text{mmol}_\text{c} \text{ dm}^{-3}$, respectivamente nas camadas de 0–5, 5–10, 10–20, 20–40 e 40–60 cm. Comparando-se esses teores de Al^{3+} trocável com aqueles que o solo apresentava antes da instalação do experimento (Tabela 1), nota-se que houve ação da calagem na redução do Al^{3+} trocável nas diferentes profundidades do solo. A redução da acidez em camadas superficiais e do subsolo mostra que a calagem superficial, realizada antes da instalação do experimento, ocasionou melhoria nas condições de acidez do perfil do solo com o passar do tempo.

A saturação por Al^{3+} foi inferior a 10% em todo o perfil de solo estudado (Tabela 5). O teor de Ca^{2+} trocável aumentou em 0,76; 0,64 e 0,56 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ por tonelada de gesso aplicado, respectivamente, nas profundidades de 0–5, 5–10 e 40–60 cm. O teor de Mg^{2+} trocável foi reduzido em 0,51 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ por tonelada de gesso na profundidade de 10–20 cm, e houve aumento na relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo, nas profundidades de 0–5 e 10–20 cm, após 7,5 anos da aplicação de gesso.

O gesso agrícola fornece cerca de 5 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de cálcio para cada tonelada aplicada no solo. Portanto, aumentos de Ca^{2+} trocável são frequentemente observados em estudos com gesso. Contudo, a duração do efeito é diferenciada, dependendo da dose aplicada e do tipo de solo. Toma *et al.* (1999), em um Ultissol argiloso caulínítico da Georgia (EUA), obtiveram aumento de Ca^{2+} trocável até 120 cm de profundidade, 16 anos após a aplicação de 35 t ha^{-1} gesso. Em solos mais arenosos esse efeito não perdura por muito tempo. Quaggio *et al.* (1993) verificaram que após 18 meses da aplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho Escuro endoeutrófico, quase todo o Ca^{2+} trocável havia sido lixiviado para profundidades maiores que 60 cm. Caires *et al.* (2001b) verificaram que após 24 meses da aplicação de 12 t ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho textura média, 40% do Ca^{2+} trocável foi lixiviado para profundidades maiores que 80 cm e que 75% do Ca^{2+} remanescente foi encontrado nas camadas do subsolo (20–80 cm).

O aumento de Ca^{2+} trocável por meio da aplicação de gesso favorece o deslocamento Mg^{2+} e K^{+} trocáveis para a solução do solo (Nogueira & Mozeto, 1990). Estes, ao se ligarem com o sulfato são lixiviados para camadas de solo mais profundas. Porém, após 7,5 anos da aplicação de gesso, houve apenas uma pequena diminuição de Mg^{2+} trocável na profundidade de 10–20 cm (Tabela 5). Caires *et al.* (1999) comentam que a aplicação de gesso, em combinação com o uso de calcário dolomítico, pode melhorar a distribuição do magnésio proveniente do calcário no perfil do solo. Porém, dependendo da dose de gesso e do tempo decorrido de sua

aplicação, o gesso pode ocasionar intensa lixiviação de Mg^{2+} trocável em todo o perfil do solo, mesmo quando combinado com a aplicação de calcário dolomítico (Caires *et al.*, 1999).

TABELA 5. Saturação por Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e relação Ca^{2+}/Mg^{2+} do solo, em diferentes profundidades, após 7,5 anos da aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto

$\hat{Y}$	Unidade	Profundidade	Equação de regressão	R^2
		cm		
Saturação por Al^{3+}	%			
		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 0,00$	-
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 0,95$	-
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 4,80$	-
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 7,60$	-
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 7,93$	-
Ca^{2+} trocável	$mmol_c dm^{-3}$			
		0-5	$\hat{y} = 57,93 + 0,76x$	0,67*
		5-10	$\hat{y} = 39,00 + 0,64x$	0,66*
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 26,7$	-
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 26,5$	-
		40-60	$\hat{y} = 21,00 + 0,56x$	0,78**
Mg^{2+} trocável	$mmol_c dm^{-3}$			
		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 17,2$	-
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 15,7$	-
		10-20	$\hat{y} = 10,57 - 0,51x$	0,60*
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 8,7$	-
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 10,7$	-
Relação Ca^{2+}/Mg^{2+}				
		0-5	$\hat{y} = 2,56 + 0,23x - 0,03x^2$	0,99*
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 2,0$	-
		10-20	$\hat{y} = 1,50 + 0,08x$	0,97*
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 1,7$	-
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 1,4$	-
K^+ trocável	$mmol_c dm^{-3}$			
		0-5	$\hat{y} = \bar{y} = 6,4$	-
		5-10	$\hat{y} = \bar{y} = 3,4$	-
		10-20	$\hat{y} = \bar{y} = 2,1$	-
		20-40	$\hat{y} = \bar{y} = 2,2$	-
		40-60	$\hat{y} = \bar{y} = 1,5$	-

*: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$

Na instalação do experimento em 1998, o solo apresentava alto teor de Mg^{2+} trocável na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1) e, após a realização da calagem superficial, os teores de Mg^{2+} trocável no solo foram aumentados (Tabela 2). O aumento do Mg^{2+} no solo favoreceu a lixiviação do nutriente das camadas superficiais do solo pela formação de par iônico com o sulfato proveniente da aplicação do gesso (Caires *et al.*, 2001b). A lixiviação de Mg^{2+} trocável foi observada com maior intensidade aos 8, 20 e 32 meses após a aplicação de gesso (Caires *et al.* 2003), mas esse efeito foi constatado até os 55 meses da aplicação (Caires *et al.*, 2006).

As doses de gesso não influenciaram os teores de K^+ trocável do solo nas cinco profundidades estudadas (Tabela 5). A lixiviação de K^+ tem sido bem menos pronunciada que a de Mg^{2+} com o uso de gesso porque a formação de par iônico de K^+ com SO_4^{2-} ocorre em muita baixa proporção (Zambrosi *et al.*, 2007a). A adição de gesso pode proporcionar lixiviação de K^+ das camadas superficiais do solo (Sumner *et al.*, 1986; Caires *et al.*, 1998, 2001b, 2002), porém a lixiviação de K^+ tem ocorrido com menor intensidade (Caires *et al.*, 2004; 2006; Ernani *et al.*, 2006) e frequência quando comparada com a lixiviação do Mg^{2+} (Farina & Channon, 1988).

- **Sulfato disponível por extração com fosfato de cálcio e acetato de amônio**

As doses de gesso, após 7,5 anos da aplicação, aumentaram os teores de S-SO_4^{2-} extraídos com solução de fosfato de cálcio e de acetato de amônio, principalmente nas camadas do subsolo (Figura 2).

A aplicação de uma tonelada de gesso fornece cerca de 150 kg de enxofre na forma de sulfato, que se movimenta de forma relativamente rápida, dependendo do tipo de solo e da acidez (Quaggio *et al.*, 1993; Camargo & Raij, 1997). Caires *et al.* (1998) verificaram que após 24 meses da aplicação de 12 t ha^{-1} de gesso agrícola em um Latossolo Vermelho textura média, cerca de 60% do S-SO_4^{2-} foram lixiviados para camadas maiores que 80 cm e ainda que 90% do sulfato recuperado foi encontrado em camadas do subsolo (20–80 cm). O aumento da disponibilidade de sulfato no solo pode perdurar durante vários anos após a sua aplicação. No

estudo de Toma *et al.* (1999), após 16 anos da aplicação de gesso ainda se observava aumento de sulfato em profundidade.

O sulfato é mais fortemente retido em solos mais ácidos e com menor densidade de carga elétrica negativa. No trabalho de Toma *et al.* (1999), o pH em subsuperfície estava em torno de 4,0, enquanto no presente estudo o pH em CaCl_2 era 5,0 e o ΔpH negativo em todas as camadas amostradas no perfil (Tabela 4). Como o teor de C-orgânico era relativamente elevado em todo o perfil do solo, variando de $26,9 \text{ g dm}^{-3}$ (0–5 cm) a $16,9 \text{ g dm}^{-3}$ (40–60 cm), a carga elétrica negativa pode ter favorecido a lixiviação de sulfato para camadas de solo ainda mais profundas. Destaca-se que mesmo em solo argiloso com alta densidade de carga elétrica negativa devida aos elevados teores de C-orgânico no perfil, o sulfato do gesso se movimenta para o subsolo e aí permanece disponível por muitos anos, informação relevante para a diagnose da disponibilidade de S em solos.

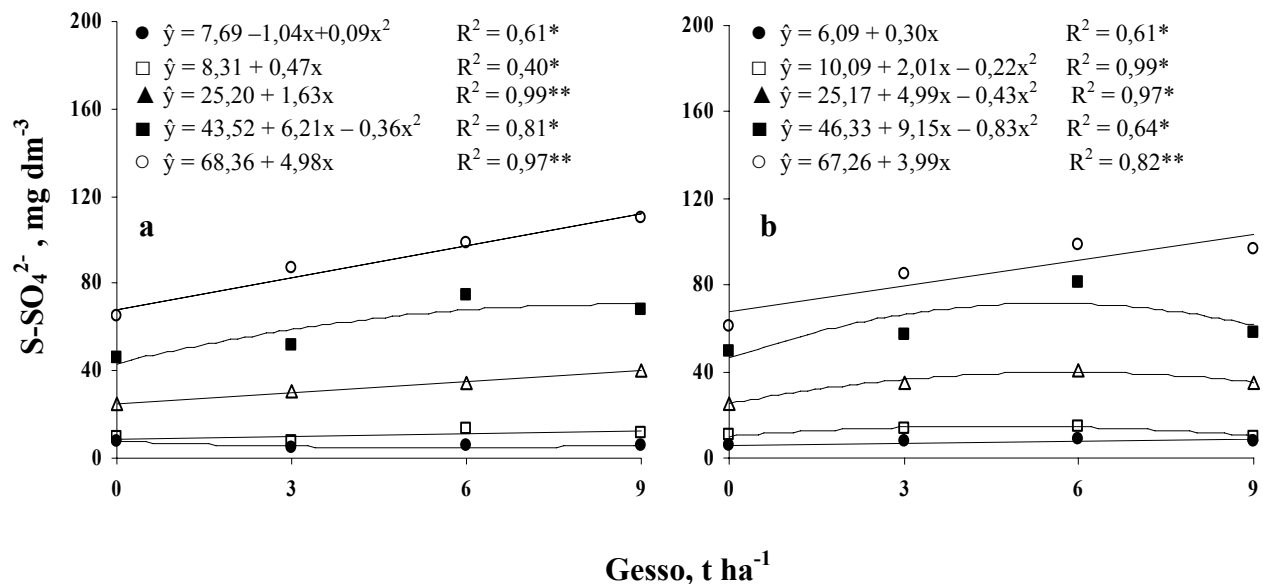


Figura 2. Teores de S-SO_4^{2-} disponível no solo extraídos com solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (a) e solução de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (b), em diferentes profundidades: 0–5 cm (●), 5–10 cm (□), 10–20 cm (▲), 20–40 cm (■) e 40–60 cm (○), após 7,5 anos da aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto. *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$.

4.2 Efeito da reaplicação de gesso em 2004 nos atributos químicos do solo

- Acidez do solo, Δ pH e carbono orgânico

A reaplicação de gesso em 2004 aumentou o pH em CaCl_2 do solo em 0,2 unidade na profundidade de 40–60 cm (Tabela 6).

TABELA 6. Valores de pH em CaCl_2 , em água e em KCl, Δ pH e teores de carbono orgânico, em diferentes profundidades do solo, após 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em sistema plantio direto

Â	Unidade	Profundidade	Sem gesso	Com 6 t ha^{-1} de gesso	Valor F	CV
		cm				%
pH em CaCl_2						
		0-5	5,8	5,8	2,3	3,7
		5-10	5,4	5,8	0,8	4,6
		10-20	5,0	5,5	0,7	2,5
		20-40	4,9	5,0	4,3	2,0
		40-60	4,9	5,1	24,5**	1,2
pH em água						
		0-5	6,5	6,5	0,1	5,0
		5-10	6,1	6,2	0,8	5,0
		10-20	5,6	5,5	0,2	2,8
		20-40	5,4	5,5	0,3	3,0
		40-60	5,4	5,4	1,6	1,8
pH em KCl						
		0-5	5,6	5,7	0,7	4,5
		5-10	5,2	5,3	0,3	3,6
		10-20	4,9	4,8	0,3	3,9
		20-40	4,8	4,8	2,8	2,3
		40-60	4,8	4,9	3,0	1,5
Δ pH						
		0-5	-0,9	-0,9	0,5	12,4
		5-10	-0,8	-0,9	0,7	23,9
		10-20	-0,8	-0,7	1,8	12,0
		20-40	-0,7	-0,6	0,9	16,2
		40-60	-0,6	-0,5	16,0**	10,5
C- orgânico						
	mg dm^{-3}					
		0-5	26,3	27,6	3,2	6,6
		5-10	22,2	22,8	0,7	7,3
		10-20	20,5	20,6	2,2	4,5
		20-40	19,5	20,0	0,9	6,1
		40-60	16,7	16,7	2,3	8,8

*: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$

O aumento do pH no subsolo por meio da aplicação de gesso também foi verificado em outros trabalhos (Carvalho & Raij, 1997; Caires *et al.*, 1999; 2002; 2003) e tem sido atribuído a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o SO_4^{2-} deslocando OH^- e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez (Reeve & Sumner, 1972).

Os valores de pH em água e em KCl, bem como os teores de C-orgânico não foram alterados após 1,5 ano da reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso. Mesmo assim, a reaplicação de gesso proporcionou pequena alteração no ΔpH na camada de 40-60 cm, de -0,6 para -0,5 (Tabela 6). No estudo de Farina & Channon (1988), enquanto o gesso apresentou efeito muito pequeno no pH em KCl, o pH em água das parcelas tratadas com gesso aumentou na zona de máxima sorção/precipitação do sulfato, resultando em aumento na CTC e diminuição no ΔpH , o que não aconteceu no presente trabalho.

O teor de C-orgânico diminuiu ao longo do perfil do solo (Tabela 6). No sistema de plantio direto ocorre constante deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e a decomposição desses resíduos é bem menos acentuada, quando comparada com o sistema convencional de preparo do solo (Bayer *et al.*, 2002). Houve correlação negativa entre os teor de C-orgânico e o valor de ΔpH do solo (Figura 3). Isso mostra que o aumento no ΔpH que ocorre a partir da superfície em direção ao subsolo foi ocasionado pela redução no teor de C-orgânico (Tabela 6). Apesar do baixo coeficiente de determinação obtido entre essas duas variáveis, é inquestionável a contribuição da matéria orgânica na geração de cargas elétricas negativas e, conseqüentemente, no aumento da CTC de solos tropicais. Esses resultados concordam com as observações de Raij (1969) de que a matéria orgânica contribuiu na geração de cargas elétricas negativas de solos tropicais em 74% na superfície do solo, em 58% nos horizontes A2 e A3, e em 47% no horizonte B1.

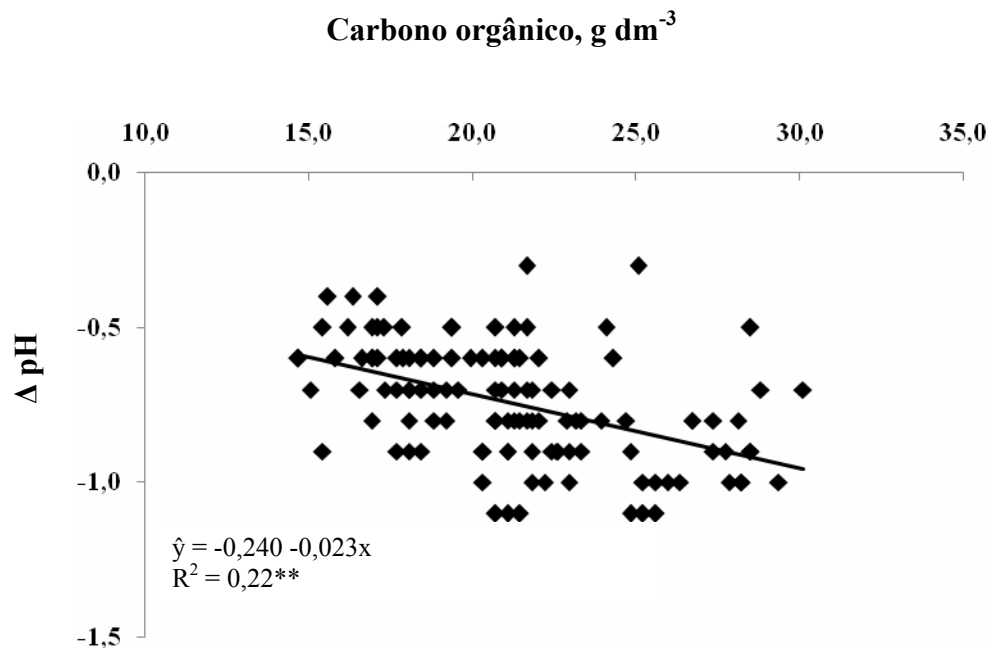


Figura 3. Correlação entre o teor de carbono orgânico do solo e o ΔpH na camada de 0–60 cm. **: $P < 0,01$.

- **Saturação por Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$**

A reaplicação de gesso não alterou os teores de Al^{3+} trocável no perfil do solo (0–60 cm), provavelmente porque eles já se encontravam em níveis baixos pela ação da calagem superficial realizada antes da instalação do experimento. Os teores de Al^{3+} trocável, em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nas parcelas sem e com reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso foram: 0,0 e 0,0; 0,9 e 0,6; 3,1 e 2,8; 3,6 e 2,3; 3,2 e 2,8, respectivamente nas camadas de 0–5, 5–10, 10–20, 20–40 e 40–60 cm. Efeito do gesso na redução dos teores de Al^{3+} trocável tem sido observado quando o solo apresenta teores mais elevados do elemento (Farina & Channon, 1988; Caires *et al.*, 1998).

Depois de 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha^{-1} gesso observou-se redução na saturação por Al^{3+} (Tabela 7) das camadas subsuperficiais do solo (20–60 cm). A redução na saturação por Al^{3+} com o uso de gesso pode ocorrer devido ao aumento de Ca^{2+} trocável e à redução de Al^{3+} trocável no solo (Farina & Channon, 1988). No presente estudo, tal efeito foi ocasionado pelo aumento de Ca^{2+} trocável, em vista de o teor de Al^{3+} trocável não ter sido influenciado pela reaplicação de gesso.

TABELA 7. Saturação por Al^{3+} , teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} trocáveis e relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo, em diferentes profundidades, após 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em sistema plantio direto

Ŷ	Unidade	Profundidade	Sem gesso	Com 6 t ha^{-1} de gesso	Valor F	CV
		cm				%
Saturação por Al^{3+}	%					
		0-5	0,0	0,0	0,0	0,0
		5-10	1,5	0,8	2,8	83,2
		10-20	4,9	4,3	1,9	22,6
		20-40	8,8	4,8	10,6**	43,9
		40-60	7,9	5,5	5,0*	38,3
Ca^{2+} trocável	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
		0-5	54,9	67,8	104,0**	5,0
		5-10	36,3	47,5	31,6**	11,7
		10-20	25,0	28,3	5,0*	13,6
		20-40	22,4	30,5	14,6**	19,6
		40-60	18,4	28,6	71,6**	12,5
Mg^{2+} trocável	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
		0-5	28,9	19,4	38,7**	15,5
		5-10	24,1	21,3	3,0	17,2
		10-20	15,3	15,3	0,0	30,0
		20-40	15,8	15,5	0,1	18,1
		40-60	18,2	17,2	0,3	26,0
Relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$						
		0-5	1,9	3,6	74,2**	17,3
		5-10	1,5	2,4	54,4**	14,5
		10-20	1,7	2,0	1,93	28,2
		20-40	1,4	2,0	11,5*	24,6
		40-60	1,1	1,7	16,3**	27,7
K^{+} trocável	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
		0-5	6,8	6,4	1,5	24,3
		5-10	3,2	3,4	0,3	18,3
		10-20	2,2	2,1	0,4	20,3
		20-40	2,1	2,3	0,7	16,5
		40-60	1,5	1,4	0,6	14,0

*: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$

O aumento de Ca^{2+} trocável com a reaplicação de gesso (Tabela 7) ocorreu em todas as camadas do perfil do solo (0–60 cm). O aumento de cálcio propiciado pela adição de gesso é relatado em vários trabalhos. Caires *et al.* (1999) observaram aumento de Ca^{2+} trocável no solo

até a profundidade de 80 cm, 14 meses após aplicação de gesso em um Latossolo Vermelho textura média. Oliveira & Pavan (1996) obtiveram aumento no teor de Ca^{2+} trocável até a profundidade de 40 cm, 8 meses após a aplicação de gesso.

A velocidade com que o cálcio proveniente do gesso se desloca para as camadas inferiores no perfil é dependente do tipo de solo, do nível de acidez e da precipitação pluvial. Quaggio *et al* (1993) observaram que 18 meses após a aplicação de gesso em um solo de textura mais leve, praticamente todo o cálcio havia sido lixiviado para profundidades maiores que 60 cm. No presente estudo foram recuperados $16,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} até a profundidade de 60 cm, após 1,5 ano da reaplicação de gesso, o que equivale a 60% dos $30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ fornecidos com o emprego de 6 t ha^{-1} de gesso. Em outro estudo realizado em um Latossolo Vermelho textura média (Caires *et al.*, 1998), recuperou-se 60% do cálcio fornecido pela adição de 12 t ha^{-1} de gesso até a profundidade de 80 cm, após 2 anos da aplicação.

A reaplicação de gesso em 2004 proporcionou redução no teor de Mg^{2+} trocável da camada superficial do solo (0–5 cm), não tendo sido verificado aumento no teor do nutriente em camadas do subsolo (Tabela 7). A lixiviação de Mg^{2+} trocável e da solução do solo tem sido uma resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso (Farina & Chanon, 1988; Oliveira & Pavan, 1996; Caires *et al.*, 1999; Caires *et al.*, 2003; Zambrosi *et al.*, 2007b). Assim, quando o gesso é aplicado em doses elevadas no solo, é importante a utilização de calcário dolomítico para evitar problemas decorrentes da movimentação de Mg^{2+} para camadas do subsolo.

A reaplicação de gesso não alterou os teores de K^{+} trocável após 1,5 ano. (Tabela 7). A lixiviação de K^{+} tem sido menos intensa que a de Mg^{2+} e as perdas de K^{+} trocável (Caires *et al.*, 2002, 2004) e da solução do solo (Zambrosi *et al.*, 2007b) por lixiviação devidas ao uso de gesso têm sido muito pequenas em sistema plantio direto

Com o aumento de Ca^{2+} e a diminuição de Mg^{2+} trocável, a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ foi aumentada nas camadas de 0–5 e 5–10 cm de profundidade, após 1,5 ano da reaplicação de gesso (Tabela 7). A dose de 6 t ha^{-1} de gesso utilizada na reaplicação foi calculada visando elevar a

relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo, na camada de 0–20 cm, para cerca de 4,0. Depois de 1,5 ano da reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso, a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ se manteve próxima de 4,0 apenas na camada superficial do solo (0–5 cm); nas demais profundidades, a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ foi de 2,4 (5–10 cm), 2,0 (10–40 cm) e 1,7 (40–60 cm). O aumento na relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo com o uso de gesso é favorecido porque a elevação de Ca^{2+} trocável é acompanhada pela redução de Mg^{2+} trocável por lixiviação.

- **Sulfato disponível por extração com fosfato de cálcio e acetato de amônio**

A reaplicação de gesso, após 1,5 ano, aumentou o teor de sulfato no solo (Figura 4) extraído com solução de fosfato de cálcio (0–60 cm) e de acetato de amônio (5–60 cm). Maiores concentrações de sulfato, independentemente do extrator empregado, foram encontradas nas camadas do subsolo.

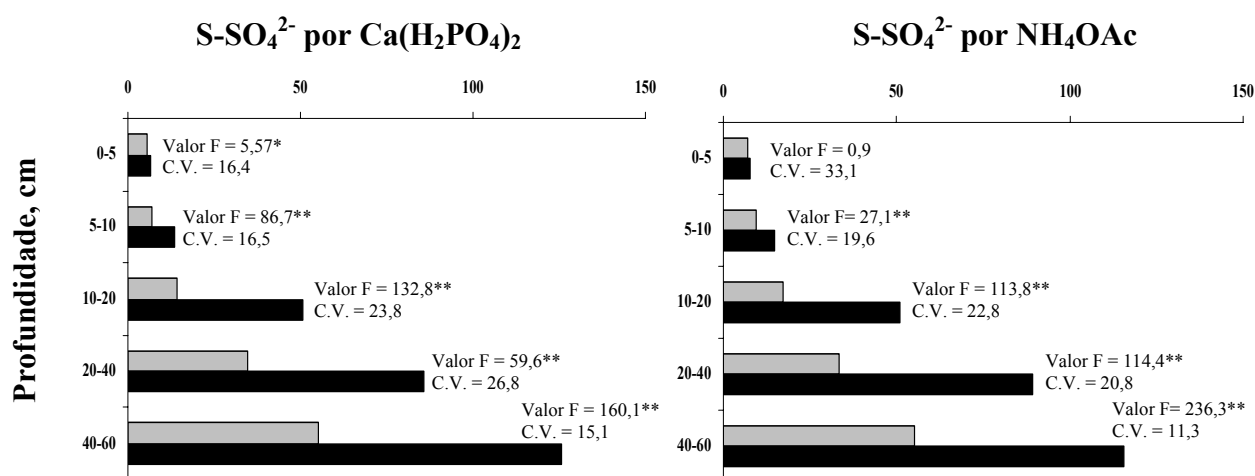


Figura 4. Teores de S-SO_4^{2-} do solo extraído com solução de fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹ [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] e solução de acetato de amônio 0,05 mol L⁻¹ em ácido acético 0,025 mol L⁻¹ (NH_4OAc), após 1,5 anos da reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso em sistema plantio direto. *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$. Sem (■) e Com (■) a reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso, após 1,5 anos.

A repulsão do sulfato pelo fosfato, a baixa acidez do solo e a alta capacidade de troca catiônica explicam os teores mais baixos de S-SO_4^{2-} na superfície do solo. Dos 480 mg dm⁻³ de S-SO_4^{2-} fornecidos pela aplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso, foi possível recuperar pela extração com solução de acetato de amônio, após 1,5 anos, 270 mg dm⁻³ de S-SO_4^{2-} até a profundidade de 60

cm. No estudo de Caires *et al.* (1998), recuperaram-se após 2 anos cerca de 350 mg dm^{-3} de S-SO_4^{2-} até a profundidade de 80 cm, dos 960 mg dm^{-3} de sulfato fornecidos pela aplicação de 12 t ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho textura média.

A movimentação de sulfato varia de acordo com o tipo de solo e as condições de acidez. No presente trabalho, o solo apresentava baixa acidez no perfil decorrente da calagem superficial realizada antes da instalação do experimento. A movimentação de sulfato foi mais rápida do que a observada por Caires *et al.* (2003) em condições de maior acidez. A correção da acidez do solo reduz os sítios de ligação do sulfato devido ao aumento do pH, proporcionando menor adsorção e maior movimentação do sulfato para o subsolo (Camargo & Raij, 1989; Nogueira & Melo, 2003).

A análise de correlação entre os teores de S-SO_4^{2-} no perfil do solo (0–60 cm) extraídos com solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e solução de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (Figura 5) indicou que os teores de sulfato foram semelhantes para os dois procedimentos de extração utilizados.

O fosfato possui maior afinidade de adsorção do que o sulfato de forma que a solução de fosfato de cálcio extrai mais o S-SO_4^{2-} adsorvido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio do que o sulfato ligado à fração orgânica do solo (Ribeiro *et al.*, 2001). Já, a solução de acetato de amônio em ácido acético extrai o sulfato solúvel, o adsorvido e parte do S ligado à fração orgânica (Fox *et al.*, 1964). Essa solução tem sido usada porque a adsorção do ânion acetato é similar à adsorção de sulfato nos solos. A alta correlação obtida entre a extração de sulfato com solução de fosfato de cálcio e de acetato de amônio em ácido acético indica que esses dois extratores apresentam eficiência semelhante na diagnose da disponibilidade de S em solo com alto teor de argila e de C-orgânico no perfil.

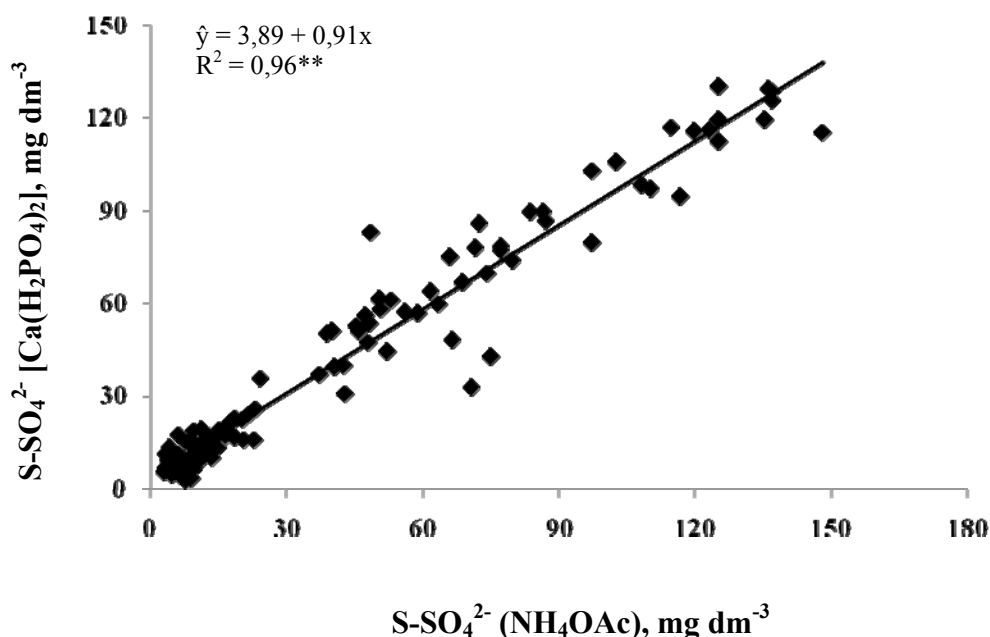


Figura 5. Correlação entre os teores de sulfato no solo (0–60 cm) extraídos com solução de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1} [\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ e solução de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (NH_4OAc). **: $P < 0,01$.

4.3 Nutrição mineral das plantas de trigo e soja

A análise de variância não revelou interação significativa entre as doses de gesso aplicadas em 1998 e a reaplicação de gesso em 2004 na nutrição mineral das plantas de trigo e soja, cultivadas durante o período de 2005–2007. Por causa disso, os efeitos das doses e da reaplicação de gesso foram analisados separadamente, através das médias das observações.

- **Produção de matéria seca e extração de nutrientes pelas plantas de trigo**

A produção de matéria seca da parte aérea foi avaliada apenas na cultura do trigo porque essa cultura tem mostrado ser responsiva à aplicação de gesso agrícola (Caires *et al.*, 2002) e pela existência limitada de estudos relacionados com a influência do gesso na produção de massa seca e na extração de nutrientes pela parte aérea do trigo.

A tabela 8 mostra os efeitos das doses e da reaplicação de gesso na produção de massa seca e na extração de macronutrientes pela cultura do trigo, cv. OR-1. As doses de gesso aplicadas em 1998 aumentaram de forma quadrática a produção de massa seca da parte aérea do

trigo cultivado em 2005 ($\hat{y} = 3975,14 + 600,18x - 65,12 x^2$), sendo a maior produção de massa seca obtida com a dose de $4,6 \text{ t ha}^{-1}$. Houve aumento quadrático na extração de N, K, Ca, Mg e S pela parte aérea do trigo em função das doses de gesso aplicadas em 1998. Comportamento semelhante foi observado com a reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em 2004, a qual aumentou a produção de massa seca da parte aérea e a extração de N, K, Ca, Mg e S pelo trigo.

TABELA 8. Produção de matéria seca da parte aérea e extração de nutrientes pelas plantas de trigo cv. OR 1 cultivado em 2005 de acordo com as doses de gesso aplicadas em 1998 e a reaplicação de gesso em 2004 em sistema plantio direto

Tratamento	Massa seca	N	P	K	Ca	Mg	S
----- kg ha ⁻¹ -----							
Gesso em 1998 (t ha⁻¹)							
0	4000,2	106,6	18,4	110,7	7,0	20,7	9,4
3	5114,5	124,8	18,2	163,4	8,7	24,0	12,9
6	5306,8	132,7	25,4	190,0	10,2	26,2	13,8
9	4076,7	101,6	15,7	125,2	6,7	18,4	9,1
Efeito	Q*	Q*	ns	Q*	Q*	Q*	Q**
C.V.(%)	22,2	23,3	38,6	33,3	30,1	24,4	24,8
R²	0,99	0,94	-	0,95	0,85	0,89	0,97
Gesso em 2004 (tha⁻¹)							
0	4179,7	102,8	17,8	119,7	5,9	19,8	8,8
6	5069,4	130,1	21,0	175,0	10,4	24,9	13,8
Valor F	8,0*	6,8*	1,5	7,0*	30,1**	13,2**	26,1**
C.V.(%)	16,7	22,0	32,8	34,8	24,8	15,4	21,4

ns = não significativo, L = efeito linear e Q = efeito quadrático por regressão polinomial. * = $P < 0,05$ e ** = $P < 0,01$

Matula & Pechová (2007), avaliando o efeito de tratamentos com gesso no crescimento inicial e na absorção de nutrientes pela cevada, em casa de vegetação, observaram que aplicação de gesso aumentou em 15% a produção de biomassa da cevada, melhorou a utilização de N pelas plantas e aumentou a extração de Ca e S. A produção de massa seca total, de folhas, hastes e vagens de soja não tem apresentado alteração com o uso de gesso, mas tem ocorrido aumento na absorção de Ca e S pela soja após a adição de gesso (Caires *et al.*, 2001b). Khan *et al.* (2006) obtiveram aumento na produção de matéria seca de milho com a aplicação de até 60 kg ha^{-1} de enxofre na forma de gesso.

A extração de S pela parte aérea da cultura do trigo no presente trabalho variou de 8,8 a $13,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 8). Esses valores são semelhantes aos obtidos por Ganeshamurthy & Takkar

(1997) na região semi-árida da Índia Central (6,0 a 12,3 kg ha⁻¹ de S) para uma produção média de 3000 kg ha⁻¹ de trigo, empregando gesso como fonte de enxofre.

Os resultados da análise de correlação entre a produção de massa seca de trigo e os atributos químicos do solo em diferentes profundidades, são mostrados na tabela 9. O incremento na massa massa seca da parte aérea de trigo com a aplicação de gesso esteve relacionado com o aumento da relação Ca²⁺/Mg²⁺ na camada superficial do solo (0–5cm) e dos teores de S-SO₄²⁻ até a profundidade de 20 cm. Os maiores coeficientes de correlação foram obtidos para a relação Ca²⁺/Mg²⁺ e para S-SO₄²⁻ extraído com solução de acetato de amônio.

TABELA 9. Coeficientes de correlação entre a produção de massa seca de trigo cv. OR 1 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem

Profundidade (cm)	Ca ²⁺ trocável	Relação Ca ²⁺ /Mg ²⁺	S-SO ₄ ²⁻	
			NH ₄ OAc	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
0-5	-0,02ns	0,52**	0,49**	0,00ns
5-10	0,10ns	-0,06ns	0,52**	0,38*
10-20	-0,28ns	-0,02ns	0,47**	0,34*
20-40	-0,05ns	-0,05ns	0,30ns	0,26ns
40-60	0,11ns	0,11ns	0,27ns	0,23ns

ns: não significativo, *: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$

A produção de massa seca da parte aérea de trigo não se correlacionou com os teores de Ca²⁺ trocável no solo, apesar de alguns trabalhos relatarem que o trigo responde ao cálcio aplicado, aumentando a produção de massa seca (Adcock *et al.*, 2001; Breenan *et al.*, 2007). O incremento na produção de biomassa da parte aérea de trigo com a adição de gesso também esteve relacionado com o aumento de N ($r = 0,49$, $P < 0,01$), P ($r = 0,38$, $P < 0,05$) e S ($r = 0,58$, $P < 0,01$) nas folhas.

O aumento na absorção de N com o uso de gesso tem sido citado na literatura e ocorre devido ao melhor aproveitamento de N pelas plantas pela melhoria das condições químicas do subsolo (Caires *et al.*, 2004) e pela maior eficiência do uso de N como fertilizante decorrente de diminuição na volatilização (Zia *et al.*, 1999). Aumentos na extração de Ca e S pelas plantas são

comuns em trabalhos com gesso agrícola, já que esse produto é excelente fonte desses dois nutrientes. Apesar de o gesso diminuir a disponibilidade de Mg^{2+} e K^+ no solo por meio da lixiviação provocada pelo sulfato, observou-se maior extração de K e Mg pela parte aérea do trigo (Tabela 8), a qual foi acompanhada pelo aumento na produção de massa seca pelas plantas. Não houve efeito da aplicação de gesso na extração de P pela parte aérea do trigo (Tabela 8). Cada tonelada de gesso agrícola pode fornecer cerca de 3 kg de P_2O_5 . Assim, quando o gesso é aplicado em grandes quantidades no solo pode ocorrer aumento de P na camada superficial do solo e no tecido das plantas (Caires *et al.*, 2003).

- **Concentração de nutrientes nas folhas de trigo e de soja convencional e transgênica**

As doses de gesso aplicadas em 1998 aumentaram os teores de N e S nas folhas do trigo cultivado em 2005, aumentaram os teores de P e Ca e reduziram o teor de Mg no tecido foliar da soja convencional cultivada em 2005–2006, e não alteraram os teores de macronutrientes nas folhas da soja transgênica cultivada em 2006–2007 (Tabela 10). A reaplicação de gesso em 2004 aumentou o teores de K, Ca e S nas folhas de trigo, e de Ca nas folhas de soja convencional. Os teores de macronutrientes nas folhas da soja transgênica não foram alterados com a reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso agrícola.

O aumento na concentração de N nas folhas das culturas com as doses de gesso tem sido ocasionado pela maior absorção de N do subsolo decorrente de melhoria das condições químicas do solo em subsuperfície proporcionada pelo gesso (Sousa & Ritchey, 1986; Farina & Channon, 1988; Caires *et al.*, 2004). No presente estudo, a concentração de N nas folhas do trigo esteve correlacionada com o teor de C-orgânico do solo até a profundidade de 20 cm (Tabela 11). Isso mostra que o acúmulo de matéria orgânica, característico do sistema plantio direto, melhora o aproveitamento do N pelas plantas por meio de ciclagem do nutriente e decomposição dos resíduos que são acumulados na superfície do solo.

TABELA 10. Concentrações de macronutrientes nas folhas de trigo cv. OR 1 (2005), de soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006) e de soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007) em função das doses de gesso aplicadas em 1998 e da reaplicação de gesso em 2004 em sistema plantio direto

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
Trigo cv. OR 1 (2005)						
Gesso em 1998 (t ha⁻¹)						
0	43,2	3,0	16,8	6,5	8,4	3,1
3	44,2	3,1	16,5	6,9	8,3	3,2
6	44,8	3,0	17,7	7,2	7,7	3,5
9	42,8	3,1	17,1	7,5	8,3	3,4
Efeito	Q*	ns	ns	ns	ns	L**
C.V.(%)	3,9	7,4	6,8	13,5	7,8	5,7
R²	0,91	-	-	-	-	0,75
Gesso em 2004 (tha⁻¹)						
0	43,7	3,0	16,3	6,2	8,1	3,1
6	43,8	3,1	17,8	7,9	8,3	3,5
Valor F	0,04	1,2	6,5*	17,8**	0,5	48,2**
C.V.(%)	4,0	8,7	8,1	14,1	8,9	4,0
Soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006)						
Gesso em 1998 (t ha⁻¹)						
0	54,3	3,2	25,2	8,2	6,9	2,4
3	54,8	3,5	25,2	7,9	7,0	2,4
6	53,7	3,4	26,3	8,5	6,5	2,5
9	54,7	3,7	25,4	8,7	6,5	2,6
Efeito	ns	L*	ns	L*	L*	ns
C.V.(%)	3,0	10,8	5,2	5,4	4,5	13,2
R²	-	0,85	-	0,57	0,60	-
Gesso em 2004 (tha⁻¹)						
0	54,1	3,3	25,3	7,9	6,8	2,4
6	54,6	3,6	25,8	8,7	6,7	2,6
Valor F	0,4	3,1	0,7	18,2**	1,8	0,9
C.V.(%)	3,77	12,4	5,1	5,9	5,3	15,6
Soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007)						
Gesso em 1998 (t ha⁻¹)						
0	61,8	3,3	22,6	9,1	5,4	2,9
3	62,7	3,3	22,0	9,1	5,1	2,8
6	60,2	3,4	23,0	8,5	5,2	2,9
9	61,6	3,5	22,3	9,3	5,0	2,9
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	3,9	8,6	4,5	8,0	4,9	8,4
R²	-	-	-	-	-	-
Gesso em 2004 (tha⁻¹)						
0	61,3	3,4	22,2	8,9	5,3	2,9
6	61,9	3,4	22,7	9,1	5,1	2,9
Valor F	0,4	0,1	1,6	0,7	3,4	0,0
C.V.(%)	3,9	7,7	4,8	6,8	6,4	11,1

ns = não significativo, L = efeito linear e Q = efeito quadrático por regressão polinomial. *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$.

O aumento na concentração de N nas folhas de trigo também esteve correlacionada com o aumento de sulfato no solo, extraído por acetato de amônio em ácido acético (Tabela 11). Zia *et al.* (1999) comenta que o S melhora a eficiência do N como fertilizante, diminuindo a sua volatilização. Caires *et al.* (2002) não observaram efeito de doses de gesso nos teores foliares de N do trigo, cv. OR 1, os quais estavam em torno de 38 g kg⁻¹.

As concentrações de N obtidas no presente trabalho ficaram próximas de 43 g kg⁻¹, sendo um pouco mais elevadas que as obtidas por Caires *et al.* (2002). Entretanto, essas concentrações estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura do trigo (Malavolta *et al.*, 1997).

O aumento do teor de S no tecido foliar do trigo esteve correlacionado com o aumento na concentração de S-SO₄²⁻ extraído do solo (Tabela 11) com as soluções de fosfato de cálcio (5–60 cm) e de acetato de amônio em ácido acético (0–60 cm). A maior concentração de Ca nas folhas de trigo com a reaplicação de gesso foi ocasionada pelo aumento de Ca²⁺ trocável no solo (Tabela 11), principalmente até a profundidade de 10 cm. Aumentos na concentração de Ca e S nas folhas de trigo, cv. OR 1, com a aplicação de gesso também foram obtidos por Caires *et al.* (2002). Em outro trabalho realizado com trigo, cv. EMBRAPA 16, observou-se aumento apenas no teor foliar de Ca com a aplicação de até 12 t ha⁻¹ de gesso (Caires *et al.*, 2001b).

TABELA 11. Coeficientes de correlação entre a concentração de nutrientes nas folhas de trigo cv. OR-1 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem

Profundidade (cm)	N-foliar		S-foliar		K-foliar	Ca-foliar
	C-orgânico	S-SO ₄ ²⁻ NH ₄ OAc	S-SO ₄ ²⁻ NH ₄ OAc	S-SO ₄ ²⁻ Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Mg ²⁺ trocável	Ca ²⁺ trocável
0-5	0,41*	0,51**	0,59**	0,27ns	-0,49**	0,63**
5-10	0,65**	0,36*	0,50**	0,46**	-0,10ns	0,61**
10-20	0,42*	0,15 ns	0,52**	0,49**	0,02ns	0,35*
20-40	0,08ns	0,12 ns	0,41*	0,45*	0,03ns	0,19ns
40-60	0,07ns	0,09 ns	0,49**	0,48**	-0,02ns	0,57**

ns: não significativo; *: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$

A aplicação de gesso pode aumentar a concentração de K nas folhas das culturas devido ao deslocamento de K⁺ do complexo de troca pelo aumento de Ca²⁺ fornecido pelo gesso.

Aumento de K em plantas com o uso de gesso foi observado nas culturas de cevada (Caires *et al.*, 2001a) e milho (Caires *et al.*, 2004). A análise de correlação mostrou que o aumento do teor de K nas folhas de trigo com a reaplicação de gesso (Tabela 10) ocorreu devido à diminuição de Mg^{2+} trocável na camada de solo de 0–5 cm (Tabela 11), ocasionada pela adição de gesso. A disponibilidade de K^+ no solo e a sua absorção pelas plantas podem ser influenciadas pela concentração dos cátions divalentes, Ca^{2+} e Mg^{2+} , dominantes do complexo de troca catiônica (Oliveira *et al.*, 2001). No presente trabalho, a presença de elevado teor de Mg^{2+} trocável na camada superficial do solo prejudicou a absorção de K pela cultura do trigo, provavelmente por inibição competitiva.

O aumento no teor de Ca nas folhas da soja convencional, cv. BRS 154, cultivada em 2005–2006, com as doses de gesso aplicadas em 1998 e a reaplicação de gesso de gesso em 2004, esteve associado com o aumento de Ca^{2+} trocável (0–20 e 40–60 cm) e da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} do solo (0–60 cm) (Tabela 12). Esses resultados mostram que o efeito positivo do gesso na nutrição de Ca da soja ocorre em longo prazo, quando a sua aplicação é feita em doses elevadas na superfície. Aumento na concentração de Ca nas folhas de soja com a aplicação de gesso também tem sido observado em outros estudos (Caires *et al.*, 1999; 2001b; 2003).

TABELA 12. Coeficientes de correlação entre a concentração de nutrientes nas folhas da soja cv. BRS 154 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem

Profundidade (cm)	P-foliar	Ca-foliar		Mg-foliar
	P (Mehlich-1)	Ca^{2+}/Mg^{2+}	Ca^{2+} trocável	Mg^{2+} trocável
0-5	-0,01ns	0,70**	0,63**	0,13ns
5-10	0,19ns	0,52**	0,61**	-0,13ns
10-20	-0,00ns	0,62**	0,35*	0,18ns
20-40	0,23ns	0,70**	0,19ns	0,25ns
40-60	-0,18ns	0,55**	0,55**	0,27ns

ns = não significativo, *: $P < 0,05$. **: $P < 0,01$

O aumento do teor de P nas folhas da soja convencional, cv. BRS 154, cultivada em 2005–2006, com as doses de gesso aplicadas em 1998 (Tabela 10), não esteve relacionado com

alterações na disponibilidade de P (Mehlich-1) no solo (Tabela 12). Caires *et al.* (2003) observaram incrementos nos teores foliares de P pelas doses de gesso, em três cultivos de soja, que acompanharam os ganhos na disponibilidade do nutriente na camada superficial do solo (0–5 cm), extraídos com solução de Mehlich-1. É possível que pequenas diferenças na disponibilidade de P no solo não tenham sido detectadas pelo procedimento de extração. De qualquer forma, a utilização de gesso em doses elevadas na superfície em sistema plantio direto causa reflexos importantes na nutrição de P da soja em longo prazo.

A redução do teor de Mg nas folhas da soja convencional, cv. BRS 154, cultivada em 2005–2006, com as doses de gesso aplicadas em 1998 (Tabela 10) deve ter sido ocasionada pela lixiviação de Mg^{2+} trocável no solo, mesmo que a correlação entre o Mg-foliar e o Mg^{2+} trocável no solo não tenha sido significativa para nenhuma das profundidades estudadas (Tabela 12). As folhas (Tabela 10) foram mais sensíveis do que a extração de Mg^{2+} trocável do solo (Tabela 5) para detectar pequenas alterações na disponibilidade de magnésio que ocorreram em longo prazo após a aplicação de gesso. Redução de Mg nas folhas de soja em consequência da lixiviação de Mg^{2+} causada pelo gesso tem sido observada em vários trabalhos (Oliveira & Pavan, 1996; Caires *et al.*, 1998; 2003; Zambrosi *et al.*, 2007b).

4.4 Produção de grãos de trigo e soja

A análise de variância dos resultados de produção de grãos de trigo e soja durante o período de 2005–2007 não revelou interação significativa entre as doses de gesso aplicadas em 1998 e a reaplicação de gesso em 2004. Por essa razão, a influência das doses e da reaplicação de gesso foi analisada por meio das médias das observações.

Nas figuras 6 e 7 estão apresentados os resultados de produção de grãos de trigo, soja convencional, cv. BRS 154, e soja trangência, cv. CD 214 RR, após longo período da aplicação de doses de gesso, sem e com a sua reaplicação na superfície em sistema plantio direto. As doses

de gesso aplicadas em 1998 não beneficiou a produção de grãos das culturas de trigo, cv. OR 1, e soja, cvs. BRS-154 e CD 214 RR (Figura 6). A ausência de efeito das doses de gesso aplicadas sobre a produção de grãos das culturas deve ter sido consequência de sua pouca influência nos atributos químicos do solo, em função do longo tempo decorrido após sua aplicação (7,5 anos).

Aumentos na produção de grãos têm sido relatados, mesmo após longo período da aplicação de gesso, em solos de textura argilosa de outros países. Farina *et al.* (2000) verificaram aumento na produção de grãos de milho após 10 anos da aplicação de gesso em um Ultissol da África do Sul. Toma *et al.* (1999) obtiveram aumento na produção de grãos de milho e de massa seca de alfafa, após 16 e 15 anos da aplicação de 35 e 10 t ha⁻¹ de gesso, respectivamente, em um Ultissol da Georgia (EUA).

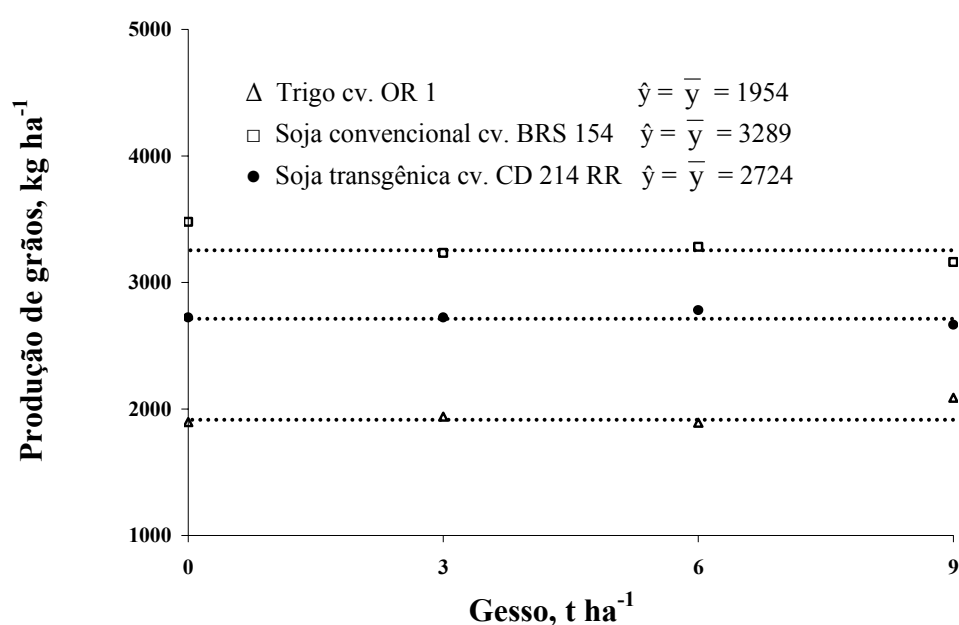


Figura 6. Produção de grãos de trigo cv. OR 1 (2005), de soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006) e de soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007) em função das doses de gesso aplicadas em 1998.

A reaplicação de gesso em 2004 aumentou a produção de grãos de trigo, cv. OR-1, em 2005, e de soja transgênica, cv. CD 214 RR, em 2006–2007 (Figura 7). A produção de grãos de soja convencional, cv. BRS 154, em 2005–2006, não foi influenciada significativamente pela reaplicação de gesso em 2004.

Sumner *et al.* (1986), Toma *et al.* (1999), primeiros trabalhos realizados com a aplicação de fosfogesso que evidenciaram aumento na produção das culturas, atribuíram esse efeito à melhoria das condições químicas do subsolo, principalmente por meio de detoxificação do alumínio e fornecimento de cálcio. Isso porque a melhoria da fertilidade do subsolo beneficia o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas, favorecendo a produção das culturas.

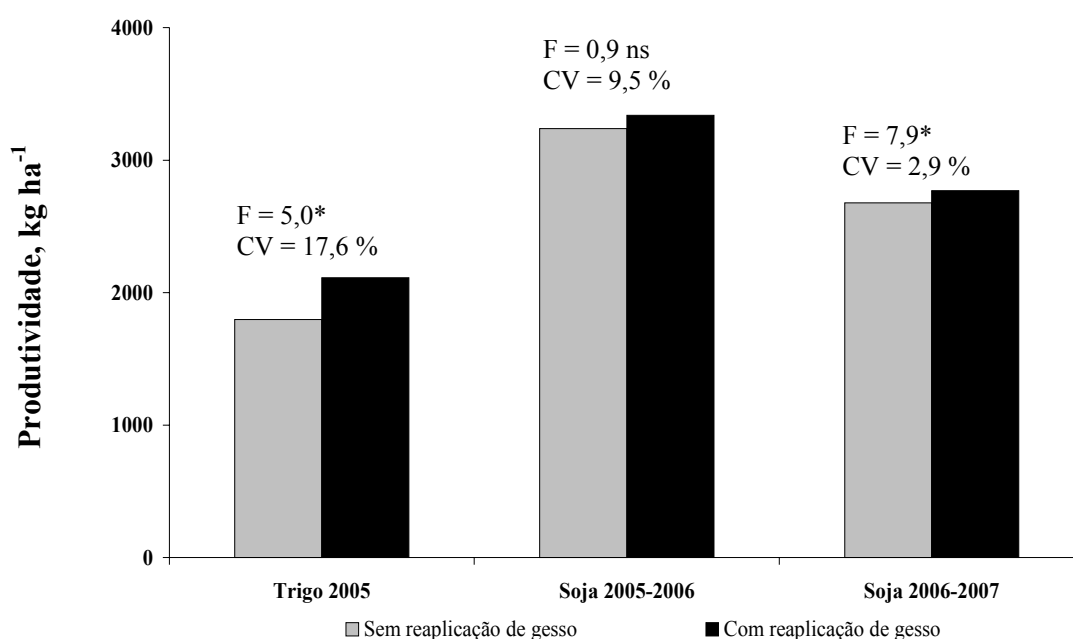


Figura 7. Produção de grãos de trigo cv. OR 1 (2005), de soja convencional cv. BRS 154 (2005–2006) e de soja transgênica cv. CD 214 RR (2006–2007) em função da reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso em 2004.

Mais recentemente, os incrementos na produção de grãos das culturas com o uso de gesso em plantio direto têm sido atribuídos, não somente à melhoria das condições químicas do subsolo, mas também ao aumento de Ca²⁺ trocável e de S-SO₄²⁻ disponível nas camadas superficiais do solo (Caires *et al.*, 2001a; 2002; 2004). No presente trabalho, o incremento na produção de grãos de trigo com a reaplicação de gesso (Figura 7) esteve associado com o aumento de Ca²⁺ trocável e a diminuição de Al³⁺ trocável e da saturação por Al³⁺ nas camadas do

subsolo (20–60 cm), e com o aumento da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ (20–40 cm) e do S-SO_4^{2-} disponível (5–60 cm) no solo (Tabela 13).

As gramíneas de inverno, como o trigo e a cevada, têm sido responsivas à aplicação de gesso. Em um estudo realizado em casa de vegetação, houve aumento de 15% na produção de biomassa de cevada (Matula & Pechová, 2007) com a aplicação de gesso. Aumentos na produção de cevada (Caires *et al.*, 2001a) e de trigo (Caires *et al.*, 2002) com a adição de gesso têm sido relatados em sistema plantio direto e correlacionados com o aumento de Ca^{2+} trocável, da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo e do sulfato disponível. Estudos com trigo em solução nutritiva mostraram que a toxidez provocada pelo alumínio afetou o crescimento das células nas raízes, aumentando o conteúdo de pectina e hemicelulose na parede celular (Hossain *et al.*, 2005). A redução do teor de Al^{3+} trocável no subsolo promoveu aumento de 15% na produção de trigo (Thomas *et al.*, 1995). O fornecimento de Ca também tem beneficiado a produção de trigo (Adcock *et al.*, 2001; Breenan *et al.*, 2007), assim como a adubação com S em solos deficientes no nutriente (Ganeshamurthy & Takkar, 1997; Sharma *et al.*, 2007).

TABELA 13. Coeficientes de correlação entre a produção de grãos de trigo cv. OR 1 e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem

Profundidade (cm)	Al^{3+} trocável	Saturação por Al^{3+}	Ca^{2+} trocável	Relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	S-SO_4^{2-}	
					NH_4OAc	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
0-5	0,00ns	0,00ns	0,27ns	0,15ns	-0,08ns	0,04ns
5-10	0,27ns	-0,18ns	0,28ns	0,32ns	0,35*	0,42*
10-20	0,21ns	-0,30ns	0,03ns	0,01ns	0,48**	0,52**
20-40	-0,50**	-0,50**	0,49**	0,38*	0,28ns	0,34*
40-60	-0,45*	-0,52**	0,34*	-0,03ns	0,39*	0,39*

ns: não significativo, *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$

Vários estudos realizados em sistema convencional de preparo do solo (Quaggio *et al.*, 1993; Nogueira & Melo, 2003) e em plantio direto (Caires *et al.*, 1998; 1999; 2001b; 2003; 2006) têm mostrado ausência de resposta da soja à aplicação do gesso. O crescimento radicular da soja, na ausência de déficit hídrico, não tem sido influenciado pela redução da saturação por

Al^{3+} no subsolo (Caires *et al.*, 2001b). Mesmo assim, a aplicação de gesso tem ocasionado melhoria na qualidade da soja por meio de aumento nas concentrações de proteína e de P, K, Ca e S nos grãos (Caires *et al.*, 2006).

O comportamento da soja transgênica frente à aplicação de gesso é desconhecido no Brasil. A reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso ocasionou pequeno acréscimo significativo na produção de grãos do cv. CD 214 RR (Figura 7). Mesmo tendo sido cultivados em anos diferentes, a produção de grãos do genótipo transgênico (cv. CD 214 RR) foi menor do que a do genótipo convencional (cv. BRS 154). Há evidências de que o sistema radicular da soja transgênica seja mais limitado do que o da soja convencional, mas isso ainda não foi comprovado no campo científico. De qualquer forma, os resultados obtidos no presente trabalho evidenciaram que a soja transgênica pode ser mais responsiva ao uso de gesso do que a soja convencional. A análise de correlação entre a produção de grãos do cv. CD 214 RR e os atributos da fertilidade do solo (Tabela 14) mostrou que o aumento na produção da soja transgênica com a reaplicação de gesso foi ocasionado pelo aumento de S-SO_4^{2-} disponível no solo (5–60 cm), principalmente aquele extraído com solução de acetato de amônio em ácido acético. É possível que o cv. CD 214 RR (transgênico) apresente maior exigência em S ou maior dificuldade na absorção desse nutriente do que o cv. BRS 154 (convencional).

TABELA 14. Coeficientes de correlação entre a produção de grãos de soja transgênica cv. CD 214 RR e os atributos químicos do solo, em diferentes profundidades de amostragem

Profundidade (cm)	Al^{3+} troçável	Saturação por Al^{3+}	Ca^{2+} troçável	Relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	S-SO_4^{2-}	
					NH_4OAc	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
0-5	0,00ns	0,00ns	0,08ns	0,24ns	0,01ns	0,24ns
5-10	-0,09ns	-0,04ns	0,08ns	0,18ns	0,57**	0,35*
10-20	0,07ns	0,12ns	-0,18ns	0,25ns	0,43*	0,27ns
20-40	0,17ns	0,06ns	-0,12ns	0,07ns	0,55**	0,45*
40-60	0,06ns	-0,03ns	-0,03ns	0,12ns	0,39*	0,29ns

ns: não significativo, *: $P < 0,05$ e **: $P < 0,01$.

Como a soja é a maior exportadora de S da agricultura brasileira (Yamada & Lopes, 1998), o uso de gesso agrícola pode aumentar a produção de culturas como a soja, pelo fornecimento de S (Mascarenhas *et al.*, 1986). A adição de enxofre em solos que não vinham recebendo adubação com S na Índia promoveu aumento significativo na produção de soja (Ganeshamurthy & Takkar, 1997; Ganeshamurthy & Sammy Reddy, 2000). Aumento na produção de biomassa e de grãos de soja com a aplicação de S via gesso também foi obtido por Boem *et al.* (2007), em quatro solos dos pampas argentinos. Saha *et al.* (2001) observaram que o S adicionado na cultura da soja, além aumentar a produção, ocasionou acréscimo na concentração de aminoácidos sulfurados nos grãos.

A produção acumulada de grãos das culturas de trigo e soja no período de 2005–2007 não foi alterada com as doses de gesso aplicadas em 1998, enquanto a reaplicação de gesso em 2004 aumentou significativamente ($P < 0,05$) em 7% a produção acumulada de grãos dessas culturas. A produção média acumulada de trigo e soja das três safras avaliadas foi de 7714 e 8220 kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente nas parcelas sem e com a reaplicação de 6 t ha⁻¹ de gesso.

5. CONCLUSÕES

- A aplicação de gesso na superfície em sistema plantio direto apresentou efeito de longa duração no solo, ocasionando aumento de Ca^{2+} trocável nas camadas superficiais e de sulfato, principalmente no subsolo, após 7,5 anos da aplicação. A produção de massa seca de trigo (cv. OR 1), a nutrição de N e S do trigo e de P e Ca da soja convencional (cv. BRS 154) foram beneficiados pelo efeito de longo prazo da aplicação de gesso.

- A reaplicação de gesso na superfície em sistema plantio direto, após 1,5 anos, aumentou o Ca^{2+} trocável e o sulfato disponível em todo o perfil do solo, aumentou a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, principalmente nas camadas superficiais do solo, reduziu a saturação por Al^{3+} no subsolo e promoveu lixiviação de Mg^{2+} da camada superficial do solo. As concentrações de K, Ca e S nas folhas de trigo e de Ca nas folhas de soja convencional (cv. BRS 154) foram aumentadas com a reaplicação de gesso.

- A reaplicação de gesso aumentou a produção de grãos de trigo (cv. OR 1) e da soja transgênica (CD 214 RR). O aumento na produção de trigo esteve relacionado com o aumento da disponibilidade de sulfato no solo, com o aumento de Ca^{2+} trocável e a redução da saturação por Al^{3+} no subsolo. A produção da soja transgênica (CD 214 RR) foi aumentada pela maior disponibilidade de sulfato no solo.

- A reaplicação de 6 t ha^{-1} de gesso em 2004 aumentou em 7% a produção acumulada de grãos de trigo e soja no período de 2005–2007, mostrando viabilidade técnica em solo com baixa acidez em subsuperfície.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADCOCK, K.G.; GARTRELL, J.W.; BRENNAN, R.F. Calcium deficiency of wheat grown in acidic sandy soil from southwestern Australia. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, p. 1217-1227, 2001.

ANGHINONI, I.; FIORESE, I. & MORAES, A.P. Respostas da cultura da soja à aplicação de boro, zinco e enxofre. **Agronomia Sulriograndense**, v.12, p.189-99, 1976.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on tropical soil. **Plant and Soil**, v.238, p.133-140, 2002.

BOEM, F.H.G.; PRYSTUPA, P. ; FERRARIS, G. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. **Journal of Plant Nutrition**, v.30, p.93–104, 2007.

BRENNAN, R.F.; BOLLAND, M.D.A.; WALTON, G.H. Comparing the calcium requirements of wheat and canola. **Journal of Plant Nutrition**, v.30, p.1167-1184, 2007.

CAIRES, E.F.; BANZATO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.115-123, 2000.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G; GARBUIO, F.J; KUSMAN, M.T. Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-286, 2003.

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 do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, v.63, p.370-379, 2006.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p.213-223, 2001a.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001b.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A. & 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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.23, p.315-327, 1999.

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** v.28, n.1, p.125-136, 2004.

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

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, E.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 225-230, 2001.

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

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; IGHE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.573-582, 1984.

CHAO, T.T. et al. Soil constituents and properties in the absorption of sulfate ions. **Soil Science**, v.94, p.276-286, 1962.

COODETEC 214 RR - Características da cultivar de soja. <http://www2.coodetec.com.br/coodetec/produto.action?culturalId=3&produtoId=14>. Acesso em 05/12/07.

DERPSCH, R. The extent of conservation agriculture adoption worldwide: Implications and impact. World Congress on Conservation Agriculture, III, Nairobi, Kenya, 2005. **Proceedings**, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA . Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Cultivares de Soja, BRS-154. [http:// www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/cultivares/BRS154.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/cultivares/BRS154.pdf). Acesso em 10/04/2006.

ERNANI, P.R.; MIQUELLUTI, D.J.; FONTOURA, S.M.V; KAMINSKI, J.; ALMEIDA, J.A. Downward movement of soil cations in highly weathered soils caused by addition of gypsum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 571–586, 2006

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.175-180, 1988.

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G.R. A comparison of strategies for amelioration subsoil acidity: I Long-term growth effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 646-651, 2000.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA – Febrapdp. Brasil- Evolução da Área Cultivada em Plantio Direto. <http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucaoPD2002a2006.pdf>. Acesso em 11/12/2007.

FOX, R. L.; OLSON, R. A.; RHOADES, H. F. Evaluating the sulfur status of soil by plant and soil test. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.28, p.243-246, 1964.

FRANCHINI, J.C. Qualidade Química do Solo. In: Workshop sobre o sistema plantio direto no estado de São Paulo, 2005. Piracicaba: Fundação Agrisus, FEALQ; Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 206p.

GANESHAMURTHY, A.N.; SAMMI REDDY, K. Effect of integrated use of farmyard manure and sulphur in a soybean and wheat cropping system on nodulation, dry matter production and chlorophyll content of soybean on swell-shrink soils in Central India. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.185, p.91-97, 2000.

GANESHAMURTHY, A.N. & TAKKAR, P.N. Residual management of sulfur applied to soybean or wheat in a soybean-wheat system on Vertisols. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.199-208, 1997.

GARBUIO, F.J. Alterações químicas do solo, nutrição, produção e qualidade de grãos de milho em função da aplicação de gesso em sistema plantio direto. Ponta Grossa, 2006. 71p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa.

HOSSAIN, A.K.M.Z.; OHNO, T.; KOYAMA, H.; HARA, T. Effect of enhanced calcium supply on aluminium toxicity in relation to cell wall properties in the root apex of two wheat cultivars differing in aluminium. **Plant and Soil**, v.276, p. 193-204, 2005.

HELYAR, K.R.; PORTER, W.M. Soil acidification, its measurement and the processes involved. In: ROBSON, A.D. (Ed.) **Soil acidity and plant growth**. Sydney: Academic Press, 1989. p.61-102.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Análise de solos: Interpretação e recomendação de calagem e adubação para o estado do Paraná**, Londrina, 1978, 49p. (IAPAR. Circular 9)

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Informações técnicas para a cultura do trigo no Paraná- 2001**, Londrina, 2001, 174p. (IAPAR. Circular 116)

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, Médias históricas das estações do IAPAR. http://200.201.27.14/Site/Sma/Estações_IAPAR/Estações_Paraná.htm. Acesso em 21/12/2005.

KHAN, M.J.; KHAN, M.H.; KHATTAK, R.A.; JAN, M.T. Response of maize to different levels of sulfur. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p.41-51, 2006.

LOPES, A.S. Calagem e gesso agrícola. **Encontro técnico sobre gesso agrícola**. Belo Horizonte, 1986, 58p.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. In: II SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA. Uberaba, 1992. **Anais...** Uberaba, p.41-66, 1992.

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

MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M.A.C.; TISSELLI-FILHO, O. & MIYASAKA, S. Calagem e adubação da soja. 3.ed. In: **A soja no Brasil Central**. Campinas, Fundação Cargill, 1986. CD-ROM

MATULA, J.; PECHOVÁ, M. The influence of gypsum treatment on the acquirement of nutrients from soils by barley. **Plant, Soil and Environment**, v.53, p.89-96, 2007.

MEKARU, T. UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 36, p. 296-300, 1972.

NASCIMENTO, J.A.L.; MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.131-135, 1980.

NOBLE, A.D.; SUMNER, M.E.; ALVA, A.K. The pH Dependency of Aluminum Phytotoxicity Alleviation by Calcium Sulfate. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1398-1402, 1988.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.655-663, 2003.

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**, v.14, p.1-6, 1990.

OATES, K. M.; CALDWELL, ?? Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**. v.49, p. 915-918, 1985.

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

OLIVEIRA, F.A.; CARMELLO, Q.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A. Disponibilidade de potássio e suas realções com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa de vegetação. **Scientia Agricola**, v.58, p.329-335, 2001.

OLMOS, I.L.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v.28, p.171-180, 1976.

PAOLINELLI, M.T.; OLIVEIRA, P.M.; SANTOS, P.R.R.SÁ; LEANDRO, V.P.; MORAES, W.W. Aplicação direta do fosfogesso. In: I SEMINÁRIO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA. **Anais...** p.197-207, 1986.

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

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Effects of phosphogypsum and lime on yield, root density, and fruit and foliar composition of apple in Brazilian acid soils. **Proceedings of the International Symposium on Phosphogypsum**. Volume 1. Florida, Florida Institute of Phosphate Research, p. 257-267, 1988.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**. v.48, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 33p.

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

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

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.3, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo, ANDA, 1988. 88p.

RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, v.28, p.85-112, 1969.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Ceres, Potafos, 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 soja cultivada em latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.305-312, 1994.

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

REISENHAEUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. Testing soils for sulfur, boron, molybdenum, and chlorine. In: WALSH, L.M & BEATON, J.D., eds. **Soil testing and plant analysis**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1973, p.173-200.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.562-569, 2005.

RIBEIRO, E.S.; DIAS, L.E.; ALVAREZ, V.H.; MELLO, J.W.V.; DANIELS, W.L. Dynamics of sulfur fractions in brazilian soils submitted to consecutive harvest of sorghum. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.787-794, 2001.

RIBEIRO JÚNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, UFV, 2001. 301p.

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

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

ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J., eds. **The role of phosphorus in agriculture**. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1980. p.151-193.

SAHA, J.K.; SINGH, A.B. GANESHAMURTHY, A.N.; KUNDU, S.; BISWAS, A.K. Sulfur accumulation in vertisols due to continuous gypsum application for six years and its effect on yield and biochemical constituents of soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.164, p.317-320, 2001.

SANTOS, J. B.; REIS, E. A.; SILVA, A. A.; FIALHO, C. M. T.; FREITAS, M. A. M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja roundup ready. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007.

SHAMSHUDDIN, J.; ISMAIL, H. Reactions of ground magnesium limestone and gypsum in soils with variable-charge minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.106-112, 1995.

SHARMA, S.N.; PIRI, I.; PRASAD, R.; DAVARI, M.R.; KUMAR, D.; SHIVAY, Y.S. Relative efficiency of sources of sulfur at varying rate of its application to wheat and rapeseed. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.53, p.103-112, 2007

SILVA, N.M; RAIJ, B. van.; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, v.56, 389-401, 1997.

SMITH, C.J.; PEOPLES, M.B.; KEERTHISINGHE, G.; JAMES, T.R.; GARDEN, D.L.; TUOMI, S.S. Effect of surface application of lime, gypsum and fosfogypsum on the alleviating of surface and subsurface acidity in a soil under pasture. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.995-1008, 1994.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D.; REIN, T.A. Respostas de culturas anuais e leucena a gesso no cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** Uberaba: IBRAFOS, 1992. p.139-159.

SOUSA, D.M.G; RITCHEY, K.D.; Uso do gesso no solo de cerrado. Resposta de culturas anuais e leucena a gesso no cerrado. In: In: I SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA. Brasília, 1986. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-144.

SRINIVASARAO, C. H.; GANESHAMURTHY, A. N.; ALI, M.; SINGH, R. N.; SINGH, K. K. Sulphur fractions, distribution, and their relationships with soil properties in different soil types of major pulse-growing regions of India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.2757-2769, 2004.

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

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Forms of sulfur, and carbon, nitrogen and sulfur relationships in Iowa soils. **Soil Science**, v.114, p.380-386, 1971.

THOMAS, G.A.; GIBSON, G.; NIELSEN, R.G.H.; MARTIN, W.D.; RADFORT, B.J. Effects of tillage, stubble, gypsum, and nitrogen fertilizer on cereal cropping on a red-brown earth in southwest Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.35, p.997-1008, 1995.

TOMA, M.; SUMNER, M.E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**. v.39, p.891-895, 1999.

VITTI, G.C. Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 30p

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: MALAVOLTA, E., coord. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-201.

VITTI, G. C.; SUZUKI, J.A. **A determinação do enxofre - sulfato pelo método turbidimétrico**. Jaboticabal: Uiversidade Estadual de São Paulo, 1978, 13p.

YAMADA, T.; LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. Informações Agronômicas. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. p.2-8. (Encarte Técnico, 84).

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, p.110-117, 2007a.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Nutrient concentration in soil water extracts and soybean nutrition in response to lime and gypsum applications to an acid Oxisol under no-till system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.79, p.169-179, 2007b.

ZIA, M.S.; ASLAM, M.; RAHMATULLAH; ARSHAD, M.; AHMED, T. Ammonia volatilization form nitrogen fertilizer with and without gypsum. **Soil Use and Management**, v.15, p.133-135, 1999.