

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

KENIO BATISTA NOGUEIRA

**ATRIBUTOS DO SOLO CULTIVADO COM MILHO SOB DOIS MANEJOS E
EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA**

CHAPADÃO DO SUL – MS
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

KENIO BATISTA NOGUEIRA

**ATRIBUTOS DO SOLO CULTIVADO COM MILHO SOB DOIS MANEJOS E
EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA**

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, para obtenção do
Título de Mestre em Agronomia,
área de concentração: Produção
Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS
2015



Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Câmpus de Chapadão do Sul

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Kenio Batista Nogueira
ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Cassiano Garcia Roque

**ATRIBUTOS DO SOLO CULTIVADO COM MILHO SOB DOIS
MANEJOS E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E
GESSO AGRÍCOLA**



Prof.(a) Dr.(a) Presidente Cassiano Garcia Roque



Prof.(a) Dr.(a) Renato de Mello Prado



Prof.(a) Dr.(a) Aguinaldo José Freitas Leal

Chapadão do Sul, 11 de Março de 2015.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai **Trajano Nogueira Lar** (*In memorian*) e ao meu irmão **Davi Batista Nogueira** (*In memorian*).

Foi bom caminhar com vocês, sentir a importância de nossas experiências. São tantas recordações boas, lembranças de um tempo que ainda se faz presente em meu coração de forma tão intensa que, hoje, tenho a certeza que somos muito mais do que amigos, somos três pessoas que crescemos juntas e compartilhamos momentos inesquecíveis e bons, além daqueles difíceis, mas que foram superados juntos.

Percebo o sal das lágrimas e o amargo da saudade. Sinto-me estranho, pois, vocês se foram e acho que não pude dizer o que enxergava em suas almas. Talvez não pudesse nem mesmo ver o que estava tão claro. Mas, hoje, vocês estão descansando no Senhor Jesus Cristo, aguardando o soar da trombeta para encontrar com o Criador em nuvens de Glória. E depois que partiram, pude caminhar por entre sentimentos, jamais vivido, tendo a certeza de um dia, juntos, nos reencontrarmos e habitar-mos na Jerusalém Celestial.

Gostaria de fazer mais por mim, pela mãe, irmãs, sobrinhos e sobrinha, por todos que sofrem com suas partidas, mas esbarro em minhas limitações e nas dos outros também. E fico inerte, vendo o tempo passar, derramando lágrimas, desejando modificar, retroceder, transformar minha história, a nossa história, mas, infelizmente, caio na real, e percebo que isso é impossível.

Meu coração é todo, saudades. Saudades daquilo que não vivi, saudades do que poderia viver, saudades do que não falei e ainda assim, com total consciência que não consigo viver com a ausência de vocês.

Saudades, meu Pai, Saudades, meu Irmão, muitas saudades eterna.

Os ventos que às vezes tiram
algo que amamos, são os
mesmos que trazem algo que
aprendemos a amar...
Por isso não devemos chorar
pelo que nos foi tirado e sim,
aprender a amar o que nos foi
dado, pois tudo aquilo que é
realmente nosso, nunca se vai
para sempre...

Bob Marley

Meu Pai, Meu Irmão, nos te amamos! Vocês serão eternamente nossos!
Seu filho e irmão que vos ama incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Fernando Pessoa afirmava que sempre é preciso saber quando uma etapa chega ao final

“... encerrando ciclos, fechando portas, terminando capítulos...”. É então chegada a hora de vestir-me de nova cor, transformar novos sonhos em realidade.

Antes, porem, de trilhar novos caminhos, devo minha gratidão...

Agradeço a DEUS pelo dom da vida eterna, misericórdia e paciência com minha alma, pela felicidade de ter Cristo Jesus como meu Pastor e pela esperança de um dia ser Cidadão dos Céus.

Aos meus pais, Trajano Nogueira Lar (In memorian) e Maria Batista Nogueira, que planejaram minha vinda a este mundo incerto, sem perder a esperança que o mundo seria melhor, me ensinaram a viver com dignidade e iluminaram os caminhos obscuros com afeto e dedicação para que eu trilha-se sem medo, muitas vezes, trabalhando dobrado, renunciando a seus sonhos em favor dos meus. Neste momento especial, procuro entre palavras a que melhor exprime esta emoção, e só encontrei duas, Deus Abençoe.

A minha esposa, Marciane. Obrigado por estender sua mão quando precisei;

Quando cai, por me erguer;

Quando pensei em desistir, por me convencer a lutar,

Quando venci, por estar lá, sorrindo e feliz ao meu lado.

Sem você nenhuma conquista valeria a pena.

As minhas queridas e amadas irmãs, Keila Batista Nogueira e Marcia Batista Nogueira, pelo imenso amor e por toda dedicação e apoio em todos os momentos de minha vida.

Aos cunhados José Augusto Owerger, Marcos Moreira, Olício e Mirian Lima e sogro Gilmar Moreira e sogra Marta Mendonça. Deixo o meu agradecimento.

Aos meus queridos sobrinhos e sobrinha, Lucas, Thiago, Diego, Witully Samuel e Mylena, por compreenderem a minha ausência por esses 10 anos em que foi realizado o curso técnico, engenharia agrônômica e o mestrado.

Agradeço a minha Tia Maria Nogueira, que muitas vezes cozinhou para mim tarde da noite, aquela que mesmo morando longe, sempre esteve e estará guardada em meu coração para sempre. Obrigado por ser a melhor Tia durante todo esse tempo, por ser uma Tia inesquecível, que ganhou minha confiança por uma conversa e o meu respeito por uma palavra.

À minha família, a quem dedico todo meu esforço, minha alegria de viver, os bons resultados do meu trabalho, o carinho e incentivo ao longo de todas as conquistas da minha vida;

Diante de tantos amigos e familiares que sempre estiveram conosco compartilhando nossas alegrias e dificuldades, durante a feitura deste estudo, não é tarefa fácil escolher aqueles a quem devo agradecer, pois todos são dignos do meu carinho e atenção. Meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque, o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado de alguém que transpira humildade; meu respeito e admiração pela sua serenidade, capacidade de análise do perfil e orientação de seus pupilos, e pelo seu Dom no ensino da Ciência, inibindo sempre a vaidade em prol da simplicidade e eficiência. Professor Cassiano: descobri que percorrer trilhas desconhecidas é mais seguro quando o Mestre esta ao nosso lado. Muito Obrigado.

Aos professores que participaram da minha qualificação (Dra. Karina Kamimura) e defesa (Dr. Aguinaldo José Freitas Leal e Dr. Renato de Mello Prado), pelas valiosas contribuições.

Agradeço a todos os professores que lecionaram para mim, especialmente, Fátima, Maria Barbosa (primeira professora de português), Dr^a Maria Ivone (melhor professora de História e Geografia), Dr^a Benedita da Silva (minha professora de Biologia), Dr. Márcio da Silva Araújo (professor na graduação), Dr. Renato de Mello Prado e Fábio Baio (professores na Pós-Graduação), que me convidaram a voar em sua sabedoria, mesmo sabendo que esse voar dependeria das minhas asas. Aos meus professores que pela sua presença marcaram minha vida e num simples gesto ou até mesmo num olhar me transmitiram a palavra. A vocês, o meu simples, mas eterno obrigado.

Agradeço ao meu amigo Anderson Fernandes, por ter me ajudado nas tarefas de escola quando criança.

Sou grato a terra onde nasci (Costa Rica-MS): daqui nasceu a paixão por minha profissão.

À MSc. Mônica Zuffo, pelo apoio indispensável no desenvolvimento desta dissertação, pela atenção, valiosas orientações e a quem tenho profundo agradecimento.

À equipe do laboratório de Solos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS, em especial aos pupilos de iniciação científica (Marcela Pacola, Mônica Natani, Guilherme Ricci e Guilherme Campos) e a acadêmica de Mestrado Roberta Pacola, por ajudar na coleta dos dados no campo e realização das análises químicas.

A Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (Coodetec), por ceder às sementes de milho para a realização do experimento.

Aos meus companheiros de trabalho da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS: Simone Viegas, Dally, Janaína, Paulo Assunção, Ênio Manfredi, Vinicius Aguero, Vilson, Daniel Spengler e Luciano.

A turminha do churrasco, brincadeiras, cafezinho e tereré, pelas caronas, presteza, conselhos e discussões do projeto. Anderson Abreu, Antonio Robis, Cleo Adriano, Felipe Rolland, Frederico Nakasone, Ludmar Barros, Marlo Nepomuceno, Minervina, Rafaela Mochinski e Tiago Taira. Deus que Abençoe!

A todos os funcionários da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS, Campus de Chapadão do Sul. Na construção de uma peça teatral, a presença de todos é imprescindível. Não existirá um cenário se não houver quem o construa. Por detrás dos bastidores, estão os grandes responsáveis pela realização da peça. A cada um de vocês, toda a minha gratidão.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS, Campus de Chapadão do Sul, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação, em nível de Mestrado.

Ao funcionário da Secretaria de Pós-graduação em Produção Vegetal, Sinomar, por todos os serviços prestados.

Aos companheiros da segunda Turma de Mestrado em Produção Vegetal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS/CPCS, pelo bom convívio nesses anos.

A todos aqueles que de uma maneira ou outra, prestaram o seu apoio e incentivo para a realização desse trabalho.

NOGUEIRA, Kenio Batista. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Atributos do solo cultivado com milho sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. Professor orientador: Dr. Cassiano Garcia Roque.

RESUMO

O uso do calcário e gesso agrícola e o manejo do solo podem influenciar seus atributos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do manejo, calcário e gesso agrícola sobre os atributos do solo e Matéria Orgânica no Solo após safra milho segundo cultivo. O experimento foi conduzido em Chapadão do Sul-MS, sendo disposto no delineamento de blocos casualizados com os fatores arranjados em parcelas subdivididas. As parcelas receberam os níveis dos fatores sistema de manejo convencional e direto e as subparcelas as aplicações de calcário e gesso agrícola (Controle, Calcário ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gesso (2 Mg ha^{-1}), Calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso ($7,126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), com quatro repetições. A densidade do solo, a resistência à penetração, o pH, acidez potencial, teor de magnésio, alumínio trocável e a saturação por alumínio não foram influenciadas pelo sistema de cultivo e sistema de condicionamento do solo, após 03 anos de implantação do experimento. O sistema de manejo convencional com efeito residual da gessagem proporcionou maior valor de porosidade total, macroporosidade, microporosidade, matéria orgânica e teor de potássio na camada de 0,10-0,20 m. A semeadura direta com efeito residual de gesso aumentou o teor de cálcio, fósforo, soma de bases e capacidade de troca catiônica.

PALAVRAS CHAVE: Fosfogesso. Compactação do Solo. Calagem

NOGUEIRA, Kenio Batista. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Attributes of the soil cultivated with corn under both managements and residual effect of the application of lime and gypsum. Professor orientador: Dr. Cassiano Garcia Roque.

ABSTRACT

The use of limestone and gypsum and soil management can influence its attributes. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of management, limestone and gypsum on soil attributes and corn yield second crop. The experiment was conducted in Chapadão do Sul- (Brazil), being arranged in a randomized block design, in split plot arranged factors. The plots received the levels of conventional management and no-tillage and the split applications of lime and gypsum (Control, Limestone ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gypsum (2 Mg ha^{-1}), Limestone recommended dose + Gypsum ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Limestone half the recommended dose + Gypsum ($1.781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) and Limestone twice the recommended dose + Gypsum ($7.126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), with four replications. Soil density, penetration resistance, pH, potential acidity, magnesium content, exchangeable aluminum and aluminum saturation were not influenced by cropping systems and soil conditioning system, after 03 years of experiment implementation. The conventional management system with residual effect of gypsum provided better value of total porosity, macro, micro, organic matter and potassium content in the layer of 0.10-0.20 m. No-tillage system with residual effect of gypsum increased the amount of calcium, phosphorus, sum of bases and cation exchange capacity.

Key words: Phosphogypsum. Soil compaction. Liming.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Propriedades do Gesso Agrícola.....	13
2.2 Gesso agrícola e seus efeitos nos atributos químicos do solo.....	18
2.3 Gesso agrícola e seus efeitos nos atributos físicos do solo	26
2.4 Efeitos da gessagem na produtividade de milho	30
3 PROPRIEDADES DO CALCÁRIO	35
3.1 Efeitos da calagem nos atributos químicos do solo	37
3.2 Efeitos da calagem nos atributos físicos do solo	39
3.3 Efeitos da calagem na produtividade de milho.....	41
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	43
CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DOIS MANEJOS E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO.....	64
INTRODUÇÃO	66
MATERIAL E MÉTODOS	67
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
CONCLUSÕES	77
BIBLIOGRAFIA	77
CAPÍTULO 2- ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MATÉRIA ORGÂNICA SOB DOIS MANEJOS E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA	83
INTRODUÇÃO	85
MATERIAL E MÉTODOS	87
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
CONCLUSÕES	95
BIBLIOGRAFIA	95

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro é a principal área de produção agrícola do Brasil (SIQUEIRA NETO et al., 2009; LOSS, 2011). A Ordem dos Latossolos representa 46% dos solos do bioma Cerrado (ADÂMOLI et al., 1985). Esses solos são altamente intemperizados, resultantes da remoção de sílica e de bases trocáveis do perfil (BUOL et al., 1981; RESENDE et al., 1995), apresentam baixa fertilidade natural, alta saturação por alumínio e alta capacidade de fixação de fósforo. Apesar da baixa fertilidade natural, existem áreas com topografia favorável para a agricultura com temperaturas adequadas e precipitação suficiente, durante 6 a 8 meses do ano, para a produção agrícola (FAGERIA; BALIGAR, 2008).

Os solos de reação ácida constituem 30% dos solos do mundo (FAGERIA; BALIGAR, 1997) e estão presentes em 70% do território brasileiro (OLMOS; CAMARGO, 1976), com capacidade de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40% (QUAGGIO, 2000). No entanto, a média brasileira de consumo de calcário é de apenas $0,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, quando deveriam ser usados ao menos 1 Mg ha^{-1} por ano em média (QUAGGIO, 2000). Os solos ácidos são quimicamente caracterizados por apresentarem valores de pH menores que 5,5; elevada saturação por alumínio (m), em alguns casos elevados teores de manganês, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e deficiência de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}). Este problema é ainda mais agravado quando a acidez não se limita apenas às camadas superficiais do solo, se estabelecendo em todo o perfil (RAIJ, 2011).

Os Latossolos são solos profundos, porosos, de textura homogênea ao longo do perfil e apresentam boa drenagem, o que os torna bastante apropriados para atividades agrícolas intensivas quando as limitações químicas são eliminadas pela aplicação de calcário, gesso agrícola e quantidades adequadas de fertilizantes (FAGERIA; BALIGAR, 2008; LOPES, 1994).

A deficiência de cálcio tanto na superfície quanto na subsuperfície nos solos do cerrado, que pode estar ou não associada à toxidez de alumínio, constitui em problema potencial para a agricultura dessa região. Aproximadamente, 90% da área agricultável do cerrado apresenta em sua

subsuperfície um teor de cálcio inferior a $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Considerando o valor de saturação de alumínio acima de 10% como prejudicial para o crescimento radicular das plantas, verifica-se que na subsuperfície, 70% da área agricultável do cerrado apresentam índices superiores a esse valor. Nessas condições, o sistema radicular das culturas não se desenvolve e a planta deixa de absorver água e nutrientes (SOUZA; LOBATO; REIN, 2001).

Por esse motivo, a calagem é considerada uma das práticas agronômicas que mais contribuem para o aumento da produtividade das culturas em solos ácidos, sendo o calcário o material corretivo mais utilizado no Brasil (FAGERIA; BALIGAR, 2008; RAIJ, 2011). O uso do material corretivo promove a elevação do pH, da saturação por bases e dos teores de cálcio e magnésio, além de reduzir os teores de alumínio e manganês trocáveis no solo (CAIRES et al., 2004).

Porém, o calcário é pouco solúvel e os produtos de sua reação têm mobilidade limitada no perfil do solo, dessa forma, a ação da calagem normalmente fica restrita às zonas de aplicação, concentrando-se, principalmente, nas camadas superficiais do solo (ERNANI et al., 2001; ROSOLEM, et al., 2003).

A gessagem pode ser utilizada como uma alternativa para a melhoria do crescimento e do desenvolvimento radicular no solo, devido a maior solubilidade do gesso agrícola em relação ao calcário. O gesso compensa o reduzido efeito do calcário na camada abaixo de 0,2 m, pois o calcário é pouco móvel e com ação restrita às camadas superficiais (COSTA, 2011).

Em solos cuja acidez se manifesta também em profundidade, sobretudo cultivados sob sistemas mais conservacionistas, como o sistema de semeadura direta (SSD), surge à necessidade de estudos que avaliem o efeito residual da calagem e gessagem nos atributos químicos e físicos nas camadas subsuperficiais.

Dessa forma, é necessário avaliar o efeito residual da calagem e gessagem nos atributos do solo no sistema de semeadura direta e convencional em experimentos de longa duração, pois a identificação de alternativas que possibilitem a melhoria dos atributos químicos e físicos no perfil do solo no sistema de plantio convencional e semeadura direta, partindo

da calagem e gessagem, podem viabilizar a permanência e o sucesso destes sistemas no Cerrado.

Em função do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito residual de calcário incorporado e gessagem superficial na produtividade de milho segunda safra, nos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho cultivado sob dois sistemas de manejo de solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

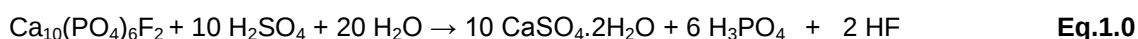
2.1 Propriedades do Gesso Agrícola

O gesso agrícola pode ser encontrado na forma mineral ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), em depósitos sedimentares em diferentes regiões do mundo, ou de resíduo, oriundo de processos industriais, onde ambos possuem atribuições similares e podem ser usados na agricultura (FREIRE, et al., 2007; AMEZKETA; ARAGUES; GAZOL, 2005; GARRIDO et al., 2003).

O gesso mineral, o qual pode apresentar ótimas condições para utilização na agricultura, é o mais importante da classe dos sulfatos hidratados, sendo representado, principalmente, pelo gipso ou gipsita, e sua ocorrência é observada em rochas gipsíferas (ROCHA, 2007; ZANARDO; MARQUES JÚNIOR, 2009). As principais reservas de gesso mineral no Brasil são encontradas nos estados do Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Pernambuco (PE), Rio Grande do Norte (RN) e Bahia (BA), sendo que, o estado de Pernambuco recebe o destaque da produção deste mineral (BEZERRA, 2010).

O Estado de Pernambuco possui, na região do Polo Gesseiro em Araripina, produção de 2,6 milhões de toneladas ano⁻¹, representando 95 % de todo o gesso brasileiro. Entretanto, menos de 1 % deste total é utilizado para fins agrícolas (NASCIMENTO, 2003).

No processo industrial, o denominado gesso agrícola ou fosfogesso é, basicamente, o sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), obtido como subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados. Para produção de ácido fosfórico, as indústrias de fertilizantes utilizam como matéria prima rocha fosfática (apatita, especialmente a fluorapatita) que, ao ser atacada pelo ácido sulfúrico adicionado de água, produz, como subproduto da reação, sulfato de cálcio (gesso agrícola) e ácido fluorídrico. De forma simplificada, essa reação pode ser representada pela equação 1.0 (MALAVOLTA, 1992).



As principais indústrias que produzem gesso agrícola estão localizadas em Cubatão (SP), Uberaba (MG) e Catalão (GO) (RAIJ, 2008). Estima-se que

sejam geradas 5 toneladas de gesso agrícola para cada tonelada de ácido fosfórico (H_3PO_4) produzido (MATOS, 2011). Somente no Brasil, cerca de 5,6 milhões de toneladas de gesso agrícola são produzidos anualmente (FERNANDES; LUZ; CASTILHOS, 2010).

A principal utilização do gesso na agricultura mundial ocorre para correção de solos sódicos. Na agricultura brasileira, a sua utilização preferencial ocorre em solos ácidos, configurando uma aplicação inédita em termos mundiais (RAIJ, 2008). No Brasil, o gesso originário da indústria do ácido fosfórico é o produto mais utilizado na agricultura (LYRA SOBRINHO et al., 2002).

O emprego do gesso agrícola ocorre pelo fornecimento de cálcio e enxofre, redução da sodicidade, condicionador de subsuperfície, condicionador de esterco e preventivo de enfermidades de plantas (VITTI et al., 2008). A relação gesso agrícola e calcário pode compensar o efeito reduzido do calcário apenas no local de aplicação, pois o gesso agrícola atuará no subsolo, nos primeiros anos de cultivo, sem necessidade de incorporação prévia (CAIRES et al., 2003).

A solubilidade em água é o importante fator diferencial do gesso em relação ao calcário: nem alta demais, que promova rápida lixiviação de íons em solos, nem baixa demais, que torne o material inerte no solo (Raij, 2008). A solubilidade do gesso agrícola é de 0,25g/100g de água, enquanto que a do calcário é de 0,0014g/100g de água a 25°C. Com isso, o gesso agrícola apresenta solubilidade 178 vezes maior que o calcário e, conseqüentemente, maior mobilidade em solos mais profundos (VITTI, 1987). A solubilidade do gesso agrícola é inversamente proporcional ao pH, ou seja, a medida que o valor pH se torna baixo a solubilidade aumenta. A solubilização do gesso agrícola pode ser representada pela Equação 2.0 (SFAR FELFOUL et al., 2002)



Observa-se que o ânion e o cátion do sulfato de cálcio, um sal neutro, não perde a propriedade ao dissolver-se, passando a existir o cátion Ca^{2+} e o ânion SO_4^{-2} em solução. Este aspecto é lembrado para fazer uma diferenciação com o carbonato de cálcio, um sal alcalino que, reagindo com acidez, tem o ânion carbonato convertido em água e gás carbônico. Essa é a razão pela qual

o ânion carbonato é considerado um “receptor de prótons”, ao contrário do ânion sulfato (RAIJ, 2008).

O gesso agrícola possui em sua composição cerca de 260 g kg⁻¹ de óxido de cálcio e 150 g kg⁻¹ de enxofre (MALAVOLTA, 1992). A composição química do Gesso agrícola é apresentada na tabela 1 e 2.

Tabela 1. Análise química do gesso agrícola originário de Catalão-GO (FREITAS, 1992).

Componente Químico	Gesso Agrícola Ultrafertil
	Teor (g kg ⁻¹)
CaO	317,1
SO ₃	448,9
P ₂ O ₅	5,6
Fe ₂ O ₃	3,5
Al ₂ O ₃	1,2
SiO ₂	9,2
TiO ₂	3,8
BaO	1,0
K ₂ O	-
MgO	0,1
Na ₂ O	0,6
F	5,7

O fósforo, mesmo sendo encontrado em baixas concentrações no gesso agrícola, pode ser importante para a nutrição das plantas, pois é aplicado em doses elevadas (CAIRES et al., 2003; SUMNER et al., 1986).

A presença de flúor no gesso agrícola é importante, por causa do poder de complexação de alumínio. Os complexos de Al com F⁻ são muito estáveis, ao contrário dos formados com SO₄²⁻ (RAIJ, 1988). Os efeitos benéficos do gesso agrícola na atenuação da toxicidade do Al, pelo menos parcialmente, por pareamento do Al com F⁻ foram encontrados em vários trabalhos (SOUZA; RITCHEY, 1986; ALVA; SUMNER, 1988; ALVA, GASCHO; GUANG, 1989; CARVALHO, 1994).

Quanto aos micronutrientes (Tabela 2), ressalta-se a quantidade considerável de boro. Como as necessidades de boro (B) para as culturas muitas vezes são supridas com 1 a 2 kg ha⁻¹ de B, a aplicação de 1 a 2 toneladas de gesso já seria o suficiente. O fato torna-se mais importante pois o cálcio e boro têm efeito similar no crescimento radicular das plantas (RAIJ, 2008).

Tabela 2. Conteúdo médio de micronutrientes e de cobalto no gesso agrícola (MALAVOLTA, 2006).

Componente Químico	Gesso Agrícola g ton ⁻¹
Boro	3
Cobalto	2
Cobre	8
Ferro	670
Manganês	15
Molibdênio	16
Níquel	2
Zinco	9

O gesso agrícola não apresenta propriedades de corretivo de acidez do solo (RAIJ, 2008) e tem sido utilizado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário (BRAGA; VALE; MUNIZ, 1995; SILVA et al., 1998), visando a redução do alumínio trocável e aumento dos teores de cálcio trocável e sulfato, bem como, em alguns casos, observa-se também, aumento de forma indireta dos valores de pH na subsuperfície do solo (SUMNER et al., 1986; FARINA; CHANNON, 1988; CAIRES et al., 1998; 1999; 2011b; SORATTO; CRUSCIOL, 2007; 2008). Tais resultados podem ser atribuídos a sua maior solubilidade em relação ao calcário e à presença de um ânion estável (SO_4^{2-}), o que assegura ao gesso agrícola alta mobilidade no solo. O ânion sulfato (SO_4^{2-}) forma par iônico neutro com o íon Ca^{+2} , e com isso, leva o cálcio até a subsuperfície do solo. O íon SO_4^{2-} pode ainda formar $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$, que é menos disponível no solo (PAVAN et al., 1982; 1984).

Apesar do gesso agrícola não substituir o calcário e não corrigir a acidez do solo, diversos trabalhos indicam aumento no valor pH do solo,

principalmente em subsuperfície em função da aplicação do gesso (CAMARGO;RAIJ,1989, QUAGGIO et al.,1993, RAIJ et al., 1994, CARVALHO; RAIJ, 1997; CAIRES et al. 1999; 2002; 2003; 2004; 2006). Como o gesso é um sal neutro, seu efeito na redução da acidez do solo pode ser explicado pelo mecanismo de “autocalagem” (REEVE ; SUMNER, 1972), 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 seguido pela precipitação de alumínio (Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ na solução do solo) com formação de minerais (ADAMS; RAWAYFIH, 1977). Também, parte da redução da acidez em profundidade, pelo gesso agrícola, pode ser decorrente da absorção de nitrato pelas raízes mais profundas (RAIJ, 2008).

Apesar do grande potencial de uso do gesso agrícola na melhoria dos atributos químicos das camadas subsuperficiais dos solos, mediante elevação do teor de cálcio e redução da atividade do alumínio, a indicação da gessagem em substituição à prática da calagem não é recomendada (SILVA et al., 1998).

Os principais fatores que causam restrição do uso do gesso na agricultura: o custo de transporte, que limita a distância da fonte até a propriedade agrícola em que o produto pode ser usado; a água contida no gesso agrícola (10 a 22%), que além de onerar o transporte, dificulta a aplicação (RAIJ, 2008).

As pesquisas envolvendo o uso do gesso agrícola ou “fosfogesso” na agricultura intensificaram-se a partir da década de 1980, aliadas à preocupação com o resíduo produzido pelas indústrias de ácido fosfórico. 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 cálcio (Ca) trocável (CAIRES et al., 2003), da formação de espécies menos tóxicas de alumínio (Al) na forma de AlSO_4^+ e da precipitação de alumínio (Al^{3+}) (ZAMBROSI; ALLEONI & CAIRES, 2007a). Em casos de solos com concentração muito baixa de alumínio, mas com baixa concentração de cálcio, 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 culturas (RITCHEY; SILVA; COSTA, 1982).

Atualmente, no Brasil o gesso tem sido recomendado para a melhoria das condições químicas das camadas subsuperficiais até as profundidades de 0,40 m e/ou 0,60 m tendo como critérios os teores de cálcio e a saturação de alumínio nestas camadas (MALAVOLTA, 1992; ALVAREZ et al., 1999; RAIJ, 2008; KORNDÖRFER, 2008). Contudo, no país, ainda não existe um consenso a respeito do critério utilizado para o cálculo das doses de gesso, visto que estas podem ser calculadas em função do teor de argila do solo; da necessidade de calagem e da determinação do fósforo remanescente (EMBRAPA, 2004; CARVALHO, 2008).

2.2 Gesso agrícola e seus efeitos nos atributos químicos do solo

Alternativas econômicas para a melhoria dos atributos químicos do solo visando o aumento da produção de grãos têm sido frequentemente buscadas na agricultura. O uso do gesso agrícola é uma boa alternativa para melhorar o perfil do solo em profundidade, pois melhora a fertilidade do solo ao longo do perfil, facilita o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das culturas nas camadas subsuperficiais e favorece a absorção de água e nutrientes (BLUM, 2008).

Quanto maior o lapso entre a aplicação do gesso e a análise do solo, mais acentuado é a sua influência nos atributos químicos do solo (PAULETTI et al., 2014).

O aumento de cálcio (Ca^{2+}) trocável em todo o perfil de um Latossolo Vermelho distrófico textura média sob SPD foi verificado por Caires et al. (2001). Os autores verificaram que, após 64 meses da aplicação superficial de 12 Mg ha^{-1} de gesso agrícola, 80% do Ca trocável tinha sido absorvido pelas plantas e/ou lixiviado para profundidades maiores que 0,60 m. Após 16 anos da adição de 35 Mg ha^{-1} de gesso incorporado a 0,15 m de profundidade, Toma et al. (1999) observaram o aumento do teor de Ca^{2+} trocável até a profundidade de 1,20 m em Ultissol argiloso caulinítico no estado da Geórgia (EUA). Já, após 32 meses da aplicação de 9 Mg ha^{-1} de gesso agrícola na superfície de um Latossolo Vermelho textura argilosa sob SPD, foi verificado aumento no teor de cálcio trocável em todo o perfil de solo estudado (0,0-0,6 m) Caires et al., (2003). Nesse mesmo solo, Caires et al. (2006) obtiveram aumento no teor de

cálcio trocável no perfil (0-0,60 m) após 55 meses da aplicação de 9 Mg ha⁻¹ de gesso em superfície.

O aumento do teor de cálcio (Ca²⁺) no solo, tanto aos 36 quanto aos 72 meses após a gessagem, foi proporcional às doses de gesso agrícola aplicada em todas as profundidades (0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m), diferindo principalmente nas maiores profundidades, fato que ratifica a mobilidade desse elemento proporcionada por esse insumo Pauletti et al., (2014). Essa mobilidade do Ca proporcionada pelo uso do gesso se deve ao efeito do SO₄²⁻ em anular a carga do Ca²⁺, o que leva à formação de um par iônico entre esses dois íons, evitando assim que o Ca²⁺ se ligue às cargas do solo, facilitando sua descida a camadas mais profundas (NAVA et al., 2012).

A gessagem aos 55 meses após a aplicação de 2 Mg ha⁻¹ não promoveu aumento no teor de Cálcio em um Latossolo Vermelho Distroférico. A explicação dos autores para este acontecimento é que possivelmente a correção realizada com o calcário, ocupando as cargas dos coloides, fez com o que o cálcio fosse lixiviado a camadas abaixo de 0,30 m, não sendo avaliadas no trabalho (SOUZA et al., 2012).

Após 18 meses da aplicação de 6 Mg ha⁻¹ de gesso em um Latossolo Vermelho Escuro eutrófico, quase todo o Ca²⁺ trocável havia sido transportado para profundidades maiores que 0,60 m (QUAGGIO et al., 1993).

A aplicação superficial de gesso agrícola em um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície no sistema plantio direto, após 9, 18 e 30 meses da aplicação, aumentou o teor de cálcio trocável disponível na camada de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. O autor observou que a adição de gesso proporcionou movimentação de Ca trocável no perfil do solo com o tempo, tendo ocorrido maior incremento no teor de Ca trocável da camada superficial do solo (0-0,10 m), após 9 meses, e da camada de solo mais profunda (0,40-0,60 m), após 30 meses (MASCHIETTO, 2009).

Com a aplicação de gesso agrícola o aumento do cálcio trocável pode ser acompanhado de lixiviação de magnésio e potássio no solo. Os trabalhos com gessagem em solos têm propiciado respostas frequentes de lixiviação de magnésio trocável (PAULETTI et al., 2014; MASCHIETTO, 2009; BLUM, 2008, CAIRES et al. 1999; 2003; 2006, FARINA; CHANNON; THIBAUD, 2000; TOMA

et al., 1999). Após 16 anos da adição de 35 Mg ha^{-1} de gesso incorporado a 0,15 m de profundidade, Toma et al. (1999) observaram a movimentação de Mg^{2+} em Ultissol argiloso caulinítico da camada de 0,20-0,60 m para a camada de 1,0-1,20 m. A lixiviação de magnésio com a gessagem foi maior quando os teores de magnésio trocáveis eram mais altos nas camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 1999). Conforme resultados apresentados por Caires et al. (2003), após 8 meses da aplicação de gesso agrícola, houve diminuição do teor de Mg^{2+} nas camadas superficiais e incremento do nutriente em camadas subsuperficiais do solo. Caires et al. (2006) estudando as camadas superficiais (0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) e o subsolo (0,20-0,40 m), verificaram redução do Mg^{2+} após 55 meses da aplicação de gesso agrícola. Farina; Channon; Thibaud (2000) também verificaram redução de Mg^{2+} na camada 0-0,30 m e aumento do nutriente na camada de 0,30- 0,75 m, após 10 anos da aplicação de gesso agrícola.

A aplicação superficial de gesso agrícola, em um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa de alta fertilidade e baixa acidez no subsolo, ocasionou lixiviação de magnésio nas camadas de 0,0-0,10 m, após 9 meses, e de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, após 18 e 30 meses. Após 18 meses da aplicação de gesso a lixiviação do magnésio trocável nas camadas mais superficiais do solo proporcionou aumento do nutriente na camada de 0,40-0,60 m. Porém, após 30 meses da aplicação de gesso agrícola não foi mais observado o aumento do magnésio trocável na camada de 0,40-0,60 m (MASCHIETTO, 2009).

O efeito residual de gesso agrícola em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, 55 meses após a aplicação de 2 Mg ha^{-1} , diminuiu o teor de Mg^{+2} nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m (SOUZA et al., 2012).

A gessagem influenciou no teor de Mg^{2+} após 7,5 anos, pois houve diminuição de Mg^{2+} trocável na profundidade de 0,10-0,20 m (BLUM, 2008).

Avaliando em longo prazo a aplicação conjunta de gesso e calcário nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura areia franca, Pauletti et al., (2014) verificaram que a gessagem nos primeiros 36 meses deslocou o magnésio (Mg^{2+}) da camada de 0-0,10 para 0,10-0,20 m, porém, com o passar do tempo da aplicação do gesso agrícola esse deslocamento foi mais acentuado e ocorreu para camadas mais profundas. Os autores observaram que aos 72 meses após a gessagem, a

dose de 12 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola proporcionou os menores teores de Mg²⁺, mormente até 0,6 m de profundidade, condição que demonstra o efeito do gesso sobre a lixiviação do Mg²⁺. A lixiviação de Mg²⁺ pela aplicação de gesso também foi observada por outros autores (QUAGGIO et al., 1982; ROSOLEM; MACHADO, 1984; CAIRES et al., 2004; RAMPIM et al., 2011; NAVA et al., 2012) e pode ser atribuída à competição do Mg²⁺ com o Ca²⁺ pelas cargas negativas do solo, de maneira que o Ca²⁺ tem preferência nos sítios de troca (LOYOLA JR; PAVAN, 1989). A calagem e a gessagem aumentam a concentração de Ca²⁺ no solo, condição que favorece o deslocamento do Mg²⁺ dos sítios de troca, podendo formar par iônico com o SO₄²⁻ (MgSO₄⁰) ou ser lixiviado na forma de íons Mg²⁺, sendo esta a forma preferencial de deslocamento no perfil (ZAMBROSI et al., 2007b). Nesse caso, a aplicação de calcário dolomítico para a correção da acidez do solo pode ser considerada uma estratégia eficiente para minimizar as perdas de Mg trocável provocadas pelo uso de gesso (CAIRES et al., 2004).

A gessagem, em combinação com a calagem, causa melhor distribuição do magnésio proveniente do calcário no perfil do solo. Todavia, dependendo da dose de gesso utilizada e do tempo decorrido de sua aplicação, o gesso pode ocasionar lixiviação muito intensa, reduzindo o teor de Mg²⁺ trocável em todo o perfil do solo, mesmo quando combinado com calcário dolomítico (CAIRES et al., 1999).

Dependendo do tipo de solo, a lixiviação de potássio (K) com a adição do gesso agrícola também pode ocorrer (SOUZA; RITCHEY, 1986). A aplicação de calcário pode reduzir a lixiviação de K, mas não elimina o efeito propiciado pela gessagem. No entanto, a lixiviação de K tem sido bem menos pronunciada que a lixiviação de magnésio nos solos (QUAGGIO et al., 1993; RAIJ et al., 1994; CAIRES et al., 2004; 2006).

A influência da gessagem na lixiviação de potássio (K) de um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície no sistema plantio direto foi avaliada por Maschietto (2009). A gessagem reduziu os teores de K⁺ trocáveis no solo na camada de 0,0-0,10 m, após 9 meses, nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, após 18 meses e de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, após 30 meses.

Pesquisa realizada por Pauletti et al., (2014) em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico mostrou que a gessagem não provocou a lixiviação de potássio (K^+), tanto aos 36 quanto aos 72 meses após a aplicação do gesso agrícola. A ausência de efeito da aplicação de gesso na lixiviação de K^+ pode ser explicada pela baixa formação do par iônico $K_2SO_4^0$ (0,2 % do total solúvel) (ZAMBROSI et al., 2008). No entanto, alguns autores observaram que a aplicação de gesso pode levar à lixiviação de K^+ (RAMPIM et al., 2011).

O teor de potássio no sistema plantio direto aumentou aos 55 meses após a aplicação de 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de textura areia franca (SOUZA et al., 2012).

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). O aumento de P (Mehlich-1) na camada superficial do solo (0-0,05 m) com a aplicação de gesso proporcionou aumento na concentração de P no tecido foliar da soja (CAIRES et al., 2003).

Estudo feito em um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa, mostra que a aplicação superficial de gesso agrícola, após 9, 18 e 30 meses, aumentou os teores de P (Mehlich-1) na camada superficial (0-0,10 m) (MASCHIETTO, 2009). Aumento de P na camada superficial do solo com a aplicação de gesso também foi observado por Caires et al., (2003), em razão da presença de resíduos de P na composição do gesso agrícola.

O efeito do plantio direto e plantio convencional com ou sem gesso no teor de fósforo (P) num Latossolo Vermelho distroférico foi avaliado por Costa et al. (2007), evidenciaram não haver efeito residual de gesso.

O efeito residual de 2 Mg ha⁻¹ de gesso, 55 meses após aplicação, diminuiu o teor de fósforo na profundidade 0,05- 0,10 m. O menor teor de P obtido na profundidade de 0,05-0,10 m, pode ser atribuído ao composto formado entre o Cálcio e o Fósforo, devido a dissociação entre o cálcio e o enxofre na presença de água, liberando íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , o Ca^{2+} reagindo com o P provocando menor solubilidade e podendo ainda com a formação de

fosfato de cálcio causar precipitação do fosfato adicionado ao solo (SOUZA, et al., 2012).

Nas camadas superficiais do solo a gessagem não influenciou o potencial hidrogeniônico pH (CaCl_2) conforme Pauletti et al., (2014), pois o gesso não é considerado um corretivo da acidez do solo (PAVAN et al., 1984; VELOSO et al., 1992; MARIA et al., 1993). No entanto, a partir de 0,6 m de profundidade houve aumento do pH, principalmente na dose de 12 Mg ha^{-1} , quando comparada com a ausência de gessagem, havendo um incremento de 0,17 e 0,15 aos 36 e 72 meses, respectivamente (PAULETTI et al., 2014). Aumento do pH no subsolo, por meio da aplicação de gesso, tem sido verificado em outros trabalhos, graças à reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o sulfato (SO_4^{2-}) deslocando hidroxilas (OH^-) dos coloides do solo para a solução, fazendo com que o gesso tenha efeito indireto na correção do pH do solo em profundidade (CARVALHO; RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999; 2003; REEVE; SUMNER, 1972).

Estudo realizado em um Latossolo Vermelho distrófico textura média revelou aumento no pH do subsolo, aos 14 e 36 meses após a aplicação do gesso (CAIRES et al., 1999).

Caires et al. (2002; 2003) relatam que o gesso, após 32 meses, proporcionou aumento do pH em profundidade abaixo da camada considerada arável. Esses resultados são contrários ao observado por Souza et al (2012), que após 55 meses da aplicação do gesso agrícola não verificaram efeito sobre o pH do solo.

Vale ressaltar que o aumento no pH do subsolo pela gessagem tem sido de pequena magnitude – de até 0,2 unidades (CAIRES et al., 2002; 2003; 2004; 2006).

A gessagem não alterou os teores de alumínio (Al^{3+}) das camadas subsuperficiais. Porém, deve-se considerar que as determinações foram feitas aos 36 e 72 meses após a aplicação de gesso agrícola (PAULETTI et al., 2014). Esse resultado corrobora com o trabalho de Zambrosi et al. (2007a) que também não verificaram alterações nos teores de Al trocável ou não trocável do solo até a profundidade de 0,40 m aos 55 meses após aplicação de gesso agrícola. Em um período de tempo bem menor após a gessagem (14 meses),

Caires et al. (1999) verificaram que a aplicação de gesso reduziu o Al trocável nas camadas de 0,05-0,10; 0,20-0,40; 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m em Latossolo Vermelho distrófico sob sistema plantio direto.

Vários mecanismos têm sido atribuídos como responsáveis pela redução desta forma de Al através da gessagem, como a formação do par iônico AlSO_4^+ , aumento do pH da solução do solo e complexação do Al pelo fluoreto (SHAINBERG et al., 1989). No entanto, a gessagem diminuiu significativamente a saturação por alumínio (m %) a partir da camada de 0,40-0,60 m, redução que foi proporcional à dose de gesso aplicada (PAULETTI et al., 2014). A redução da saturação por alumínio (Al) pode ser explicada pelo deslocamento do Ca^{+2} para o subsolo, de modo que esse cátion desloca o Al para a solução do solo, assim diminuindo sua saturação e seu efeito tóxico. Houve redução da saturação por Al, na camada de 0,40-0,60 m, de 87 % na condição inicial do solo, para valores pouco acima de 40 %, após 36 meses da aplicação do gesso. Essa redução foi mais acentuada após o período de 72 meses de avaliação, alcançando valores inferiores a 20 % em todas as doses de gesso aplicadas (PAULETTI et al., 2014).

A gessagem não influenciou nos teores de Al^{+3} trocável do solo após 7,5 anos nas profundidades estudadas (0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m). No mesmo estudo, depois de 1,5 anos da reaplicação de 6 Mg ha^{-1} de gesso, observou-se redução da saturação por Al^{3+} das camadas subsuperficiais do solo (0,20-0,40 m) (BLUM, 2008).

Muitos acreditam que um dos sérios problemas dos solos da região dos cerrados é a ocorrência de teores elevados de alumínio tóxico, isso não é verdadeiro. Alta é a saturação por alumínio, dada em porcentagem da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) efetiva. Os teores em geral são baixos, o que torna a utilização do gesso agrícola bastante favorável nos solos do cerrado. O gesso agrícola, mesmo não eliminando o alumínio ao se deslocar em profundidade no solo, introduz fatores que reduzem a atividade do alumínio na solução do solo, como é o caso do aumento de cálcio, que reduz a saturação por alumínio, e do aumento de sulfato, que reduz a atividade do alumínio pela formação de complexos (RAIJ, 2008).

Estudo realizado em um Latossolo Vermelho distroférico, na região de Dourados-MS, revelou aumento na saturação por bases (V%) na profundidade

de 0,20-0,30 m, aos 55 meses após a aplicação de gesso agrícola (SOUZA et al., 2012). Outro trabalho verificou que após 55 meses de aplicação de gesso a saturação por bases aumentou em camadas abaixo de 0,40 m (CAIRES et al., 2006). O efeito da gessagem na saturação por bases em profundidade maior que 0,20 m pode ser decorrente do fornecimento de cálcio, promovendo mobilidade em camadas mais profundas do solo, não tendo qualquer relação com a correção da acidez (CAIRES et al., 2002). Este fato também pode ser devido ao movimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo proporcionado pelos compostos hidrossolúveis originários dos resíduos de culturas antecessoras (SORATTO; CRUSCIOL, 2007).

Trabalho realizado Latossolo Vermelho distroférico mostrou que a presença de gesso na profundidade de 0,20- 0,30 m, 55 meses após a gessagem, causou redução na acidez potencial do solo (SOUZA et al., 2012).

Estudo feito em Latossolo Vermelho distroférico de Botucatu, SP, avaliou alterações na acidez potencial após 12 e 18 meses da aplicação superficial de gesso agrícola em sistema plantio direto recém-implantado. Os autores verificaram redução na acidez potencial na camada 0,10–0,20 m, na amostragem realizada aos 12 meses, e na camada de 0,40–0,60 m, na amostragem realizada aos 18 meses. Esses resultados refletem a influência do gesso sobre os valores de Al, sendo consequência provocada pelo sulfato por troca de ligantes, removendo hidroxila, o que contribui para a insolubilização do Al (SORATTO; CRUSCIOL, 2008). Apesar de ser uma reação termodinâmica instável, o gesso agrícola cumpre o seu papel de reduzir o Al no solo, mesmo que não por muito tempo (RAIJ, 2008).

A aplicação de gesso agrícola, no sistema plantio direto, reduz a matéria orgânica do solo. Este fato pode ser devido à sua ação no solo e, consequentemente, na atividade microbiana, pois ao lixiviar no perfil do solo, o gesso favorece o aumento de teores de cálcio e redução dos teores de alumínio, promovendo maior aprofundamento das raízes, as quais se distribuem melhor no perfil do solo propiciando a mineralização mais profunda e acelerada (SOUZA et al., 2012).

A aplicação superficial de gesso agrícola, aumentou o teor de C orgânico do solo na camada de 0,40-0,60 m, após 9 e 18 meses, e na camada de 0-0,10 m, após 30 meses. É possível que um maior aporte de massa de resíduos da

parte aérea e das raízes das plantas de cobertura tenham contribuído para incrementar C orgânico no solo com o uso de gesso (MASCHIETTO, 2009).

A capacidade de troca de cátions (CTC), no sistema plantio direto, diminuiu aos 55 meses após a aplicação de gesso agrícola. A redução no teor de matéria orgânica no SPD pela aplicação de gesso agrícola justifica a redução da CTC no SPD, uma vez que, a CTC é dependente do teor de matéria orgânica (SOUZA et al., 2012).

Os resultados supracitados ratificam o efeito residual em longo prazo do gesso agrícola nos atributos químicos do solo, mostrando que, quando aplicado em altas doses no solo, pode perdurar por muito tempo.

2.3 Gesso agrícola e seus efeitos nos atributos físicos do solo

Além de o gesso agrícola favorecer os atributos químicos do solo como fornecimento de cálcio e enxofre, redução da saturação por alumínio, esse material pode exercer influência nos atributos físicos do solo, como a floculação de partículas, quebra de encrostamento superficial, densidade do solo, volume de poros e resistência à penetração do solo (RAIJ, 2008).

A gessagem pode atuar como condicionador das estruturas do solo (ROSA JUNIOR, VITORINO; VITORINO, 1994; ROSA JUNIOR et al. 2006), favorecendo a agregação, e consequente melhoria na estrutura do solo. O uso de gesso é mais eficaz na melhoria da estrutura do solo por formar ponte catiônica com argilas e carbono orgânico do solo (CHAN; HEENAN, 1999; ZHANG; NORTON, 2002). Há ainda outros atributos físicos como densidade do solo e porosidade que podem ser alterados pela combinação do sistema de manejo e a gessagem (COSTA et al., 2007).

Alterações na densidade do solo (Ds) de um Latossolo Vermelho escuro em função da aplicação de $9,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso foram observadas por Borges et al. (1997). Estes autores verificaram que o uso do gesso promoveu reduções na Ds, porém, neste trabalho a aplicação do gesso foi sobre 15 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais de crotalaria, sendo importante considerar o efeito da matéria orgânica na redução da densidade do solo.

Em experimento realizado no município de Campinas, SP, em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistema plantio direto, Pessoni (2012) avaliou o efeito da aplicação isolada ou combinada de calcário e gesso nas propriedades físico-hídricas da camada de 0,0-0,40 m de profundidade do solo. Foram estudadas as combinações de cinco doses de calcário ($C1 = 0,0 \text{ Mg ha}^{-1}$; $C2 = 3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$; $C3 = 6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$; $C4 = 9,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $C5 = 12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) com quatro doses de gesso ($G1 = 0,0 \text{ Mg ha}^{-1}$; $G2 = 3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$; $G3 = 6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $G4 = 9,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). Após 20 meses da aplicação do calcário e gesso agrícola não foram observadas diferenças significativas na densidade do solo (D_s) na camada de 0,00 a 0,40 m de profundidade, em função da aplicação de calcário e de gesso nas doses utilizadas no experimento. De maneira semelhante ao ocorrido com a densidade do solo, também não foram observadas diferenças significativas nos valores da porosidade total, macroporosidade e microporosidade tanto na camada de 0,00 a 0,20m quanto na camada de 0,20 a 0,40m. Estes resultados são reflexos da ausência de respostas na densidade do solo.

A avaliação de uma área manejada por meio do sistema convencional (grade intermediária + grade niveladora) e SPD, com ou sem residual de gesso (0 e 2 Mg ha^{-1}) em diferentes profundidades num Latossolo Vermelho distroférico foi realizada por Souza et al (2009). Segundo os autores após 55 meses de implantação dos sistemas de manejo e aplicação de gesso, independente do tipo de preparo estudado, o efeito da gessagem sobre a D_s foi mais acentuado na camada de 0,00 a 0,05 m. Os autores ressaltam que mesmo não apresentando diferença significativa entre os manejos, houve a disposição do efeito residual de gesso reduzir a densidade do solo. Rosa Junior et al., (1999/2001) salienta que a redução da densidade do solo pode ser atribuída ao gesso agir como agregante pelo fornecimento de cátions que provavelmente, neutralizariam parte das cargas negativas ocorrentes no meio e, portanto, proporcionariam condições de aproximação do ponto zero de carga.

O efeito da ausência e adição de 2 Mg ha^{-1} de gesso agrícola, submetidos a dois sistemas de cultivo (plantio direto e preparo convencional), sobre a densidade do solo e porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférico foi estudado por Costa (2006). A autora verificou que no sistema

de plantio direto, o uso da dose de 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola proporcionou incremento da densidade do solo e diminuição da porosidade total, o que pode ter ocorrido em função da neutralização parcial de íons alumínio, fato que, de acordo com Rosa Junior (1994) pode, nos Latossolos, promover a dispersão de agregados já existentes. No sistema de preparo convencional, o uso de gesso reduziu a densidade do solo e aumentou porosidade total, fato que se atribui à ação agregante do gesso, pelo fornecimento de cátions que, possivelmente, neutralizariam parte das cargas negativas ocorrentes no meio e, portanto, proporcionaria condições de aproximação do ponto zero de carga (PZC) (ROSA JUNIOR et. al., 1999/2001), agregando dessa forma partículas que estivessem livres ou dispersas em água.

Os efeitos de doses de gesso agrícola (0, 4, 8 e 12 Mg ha⁻¹), 50 meses após a aplicação superficial, nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto foram avaliados por Müller et al., (2012). A resistência do solo à penetração (RP) foi avaliada na profundidade de 0,0–0,30 m, e amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0,0–0,075 e 0,075–0,15 m para determinar a densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mi) e macroporosidade (Ma). A RP do solo não foi afetada pela gessagem na camada superficial (0,0-0,075), mas teve aumento linear com doses de gesso nas camadas de 0,075-0,15 e 0,15-0,30 m. Os autores explicam que o aumento do teor de cálcio no subsolo devido à aplicação de gesso aumenta as forças de agregação no solo, propiciando a formação de agregados maiores e Conforme Misra e Dexter e Alston (1986), o aumento do tamanho do agregado aumenta a força de crescimento axial da raiz necessária para penetração no solo, de modo que a RP medida pelo penetrômetro também aumentará, com a gessagem. A densidade do solo foi afetada pela gessagem apenas na camada de 0,075-0,150 m, onde a Ds diminuiu linearmente com doses de gesso. Isso também pode ser relacionado para maior tamanho do agregado observado em função da gessagem na mesma camada, o qual levou ao aumento da porosidade entre agregados (macroporos). Houve um aumento linear da PT em função das doses de gesso na camada de 0,075-0,15 m, em consonância a redução linear da densidade do solo. Este resultado é relacionado com o aumento linear da Ma em função da gessagem nesta camada, que apoiam argumentos acima de maior tamanho

do agregado com gesso e o resultante aumento da porosidade total entre agregados maiores. Pelo contrário, a M_a diminuiu linearmente em função de gesso na camada de 0,0-0,075 m, que foi acompanhada por um aumento linear da M_i nesta camada, em outras palavras, uma parte dos macroporos foram transformados em microporos. Estes resultados sugerem que o gesso aumentou a agregação do solo, uma vez que correspondem M_i de poros intra-agregado (OTHMER; DIEKKRÜGER; KUTILEK, 1991).

Estudando a aplicação de gesso agrícola em solos sob SPD, Tirado-Corbala (2010) observaram maior D_s na camada superficial do solo e menor no subsolo para solos tratados com gesso, em comparação com os controles, concluindo que o gesso teve um efeito positivo sobre propriedades físicas do solo, devido à redistribuição de Ca em todo o perfil do solo.

A redução da densidade do solo promovida pelo uso do gesso tem sido atribuída ao aumento da quantidade e da atividade do cálcio (Ca^{+2}) no complexo de troca do solo. Isto porque, este cátion, em condições de pH ($CaCl_2$) maior que 5,5, podem formar ligações entre os polímeros da matéria orgânica e a superfície dos coloides, promovendo formação de agregados com consequente redução da densidade do solo (CASTRO FILHO, 2002; OLIVEIRA, 2008). A calagem pode potencializar este fenômeno, em razão do aumento do pH do solo e da concentração dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução do mesmo, promovendo maior dissolução dos grupos fenólico e carboxílico da matéria orgânica. A ação flocculante da calagem é ainda mais importante em solos com predomínio de óxidos de ferro e de alumínio, devido ao aumento da concentração de cargas negativas promovido pela reação do calcário no solo (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991).

Desta forma, nota-se que solos cultivados sob sistema de plantio direto podem ser beneficiados pela gessagem superficial, visto que esta prática pode conferir às camadas pouco profundas menores valores de densidade devido à maior agregação das partículas. Isto seria altamente favorável ao sistema, já que, o não revolvimento do solo, contribui para a diminuição do volume de macroporos e também para o maior aparecimento de camadas compactadas (STONE; SILVEIRA, 2001; BERTOL et al., 2001).

É importante destacar a carência de trabalhos que avaliem o efeito residual da aplicação conjunta de calcário incorporado e gesso superficial nos

atributos químicos e físicos do solo e na produtividade das culturas de segunda safra, visando à construção de um perfil de fertilidade nos solos do cerrado. Estas informações, aliadas ao estudo da nutrição e produtividade das culturas submetidas a estas práticas, podem se mostrar ferramentas bastante úteis para profissionais da área e produtores rurais que necessitem contornar os problemas físicos e químicos gerados nos solos do cerrado.

2.4 Efeitos da gessagem na produtividade de milho

A gessagem tem potencial para aumentar a produtividade das culturas em solos ácidos (VELOSO et al., 2012).

O melhoramento genético tem desenvolvido plantas mais produtivas e exigentes quanto às condições do ambiente produtivo. Porém, a correção da acidez do solo, que se limitava à camada de 0,0-0,2 m para cultivos anuais em plantio convencional, tornou-se mais limitante quanto à profundidade em semeadura direta sem a incorporação do calcário (ERNANI; RIBEIRO; BAYER, 2001).

Aproximadamente 70% da área cultivada com soja e milho no Brasil é sob semeadura direta (EMBRAPA, 2012), neste sistema a correção da acidez do solo e a disponibilidade de nutrientes é restrita a camada superficial, principalmente em condições de deficiência hídrica. Dessa forma, há uma demanda crescente por alternativas que melhorem os atributos químicos das camadas subsuperficiais do solo sob semeadura direta, visando melhorar o enraizamento no perfil, a absorção de água e nutrientes pelas culturas e a estabilidade da produtividade (RITCHEY et al., 1980).

Na década de 70, pesquisadores observaram que, em situação de déficit hídrico, plantas de milho adubadas com superfosfato triplo (ST) murchavam, enquanto as adubadas com superfosfato simples (SS) não. Constatou-se, então, maior profundidade de raízes nos tratamentos com uso de SS, além de teor maior de Ca^{2+} e menor de Al^{3+} no subsolo. Como a presença de gesso no SS era a principal diferença entre as fontes de P, vislumbrou-se o potencial do gesso para o manejo da fertilidade em subsuperfície (RITCHEY et al., 1980).

Respostas diferenciadas ao gesso agrícola apresentadas por poáceas e fabáceas foram observadas nos trabalhos (PAULETTI et al., 2014; CAIRES et

al., 2011a; RAMPIM et al., 2011; MASCHIETTO, 2009; CAIRES et al., 1998), sendo discutidas pelos autores as mudanças nos atributos químicos do solo em relação ao fato das poáceas possuírem capacidade de troca de cátions (CTC) radicular inferior em relação às fabáceas. As poáceas são, normalmente, mais eficientes na absorção de cátions monovalentes, e as fabáceas mais eficientes na absorção de cátions divalentes. Dessa maneira, as fabáceas apresentariam menor resposta à adição de gesso devido a sua maior capacidade natural de absorver Ca^{2+} e Mg^{2+} , mesmo em baixas concentrações no solo, quando comparadas às poáceas. Assim, o milho é menos eficiente do que a soja na absorção de Ca^{2+} e de S-SO_4^{2-} da solução do solo. Isso explica as respostas diferenciadas das culturas de milho e soja à aplicação de gesso, em solo de baixa acidez em subsuperfície no sistema de semeadura direta (MASCHIETTO, 2009).

Alguns trabalhos demonstraram que o uso do gesso agrícola aliado à calagem, tem aumentado a produtividade de diferentes culturas, tanto quando os insumos foram incorporados ao solo, quanto quando os mesmos foram aplicados superficialmente (PAULETTI et al., 2014; RAMPIM, et al., 2011; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; SORATTO et al., 2010).

Acréscimo de 11% na produtividade de milho, com dose de máxima eficiência técnica (MET) estimada em $9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso, em Latossolo de textura média em Ponta Grossa, PR, foram observados por Caires et al. (1999). Os autores correlacionaram positivamente os aumentos de produtividade com o aumento dos teores foliares de S-SO_4^{2-} e Ca^{2+} e da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ no tecido foliar, bem como com a diminuição nos teores de Mg^{2+} .

Em um Latossolo Bruno em Guarapuava-PR, os acréscimos na produtividade de milho em função de doses de gesso novamente chegaram a 11%, mas com MET obtida na dose de $7,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ (CAIRES et al., 2011b).

Os efeitos de doses de gesso agrícola sobre a produtividade de milho em um Latossolo Bruno sob plantio direto, foram avaliados por Michalovicz (2012). Os tratamentos foram as quatro doses de gesso agrícola (3, 6, 9 e 12 Mg ha^{-1}) mais um tratamento controle sem gesso. A produtividade do milho foi avaliada seis meses após a aplicação do gesso agrícola. A produtividade de grãos de milho respondeu de forma quadrática à adição de doses de gesso. A máxima eficiência técnica (MET) para as doses aplicadas foi estimada em $4,0$

Mg ha⁻¹ de gesso, com produtividade estimada de 10,6 Mg ha⁻¹, 11% superior à estimativa para o tratamento controle (0,0 Mg ha⁻¹ de gesso). O autor explica, que a queda de produtividade do milho nas doses acima da MET, sobretudo com 9 e 12 Mg ha⁻¹ de gesso, foi ocasionada pela movimentação de Mg²⁺ das camadas superficiais para o subsolo, diminuindo a absorção pela cultura e causando decréscimo no teor foliar. O aumento excessivo do teor de Ca²⁺ e da relação Ca²⁺/Mg²⁺ no solo, pode diminuir a absorção e os teores foliares de Mg na cultura do milho, resultando em menor produção de massa seca (MS) e altura de planta (MEDEIROS et al., 2008).

A resposta da cultura do milho à calagem e à gessagem no sistema plantio direto foi estudada por Caires et al. (2004) no município de Ponta Grossa, PR, em uma área com Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. Nas parcelas, aplicaram-se quatro doses de calcário dolomítico, com PRNT de 89 %. As doses foram as seguintes: sem calcário; calcário parcelado na superfície (três aplicações anuais de 1,5 Mg ha⁻¹); calcário na superfície (4,5 Mg ha⁻¹) e calcário incorporado (4,5 Mg ha⁻¹). A dose de calcário foi calculada para se alcançar uma saturação por bases de 70%, na camada de 0,00 a 0,20 m. Nas subparcelas, aplicaram-se superficialmente quatro doses de gesso agrícola: 0; 3; 6 e 9 Mg ha⁻¹. Como resultado do estudo, observou-se que a aplicação de gesso agrícola (9 Mg ha⁻¹) em combinação com a calagem ocasionou acréscimos na produção de milho da ordem de 17 %, mostrando ser uma estratégia eficiente para maximizar a produção de grãos, mesmo na ausência de déficit hídrico. O aumento na produção de milho com a aplicação de calcário e gesso não foi ocasionado por alterações no crescimento do sistema radicular e esteve relacionado com o aumento da saturação por cálcio nas camadas superficiais do solo.

A resposta da cultura do milho sete meses após a gessagem, em um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície que vinha sendo manejado há 15 anos sob sistema plantio direto, foi estudada por Maschietto (2009). As parcelas constaram de quatro doses de gesso agrícola: 0, 4, 8 e 12 Mg ha⁻¹. As doses de gesso foram calculadas visando elevar a relação Ca/Mg trocáveis do solo, a valores entre 4 e 8, na profundidade de 0-0,20 m. Com resultado do estudo, verificou-se que a produção de grãos de milho aumentou de forma quadrática com as doses de

gesso aplicadas na superfície. A máxima eficiência técnica (MET) foi obtida com a dose de $7,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso, ocasionando um aumento da ordem de 11% no rendimento de grãos. Vários trabalhos relataram aumentos na produção de grãos de milho, mesmo após longo período da aplicação de gesso (FARINA; CHANNON; THIBAUD, 2000; TOMA et al., 1999). Farina e Channon e Thibaud (2000) verificaram aumento na produção 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 milho após 16 anos da aplicação de gesso, em um Ultissol da Georgia (EUA).

Em experimento realizado em Carazinho, RS, em área sob sistema de plantio direto há 15 anos, em Latossolo Vermelho Distrófico, Nora et al., (2014) avaliaram a resposta do milho à aplicação superficial de gesso agrícola combinado com calcário dolomítico. Foram avaliadas três doses de gesso sendo elas 0; 2,5 e $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ combinadas com $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico de PRNT equivalente a 75%. Com a aplicação de doses crescentes de gesso combinado com calcário, houve diferença significativa na produtividade do milho avaliada no experimento. Os autores verificaram que aplicação conjunta de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso + $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico aumentou aproximadamente em 10% a produtividade do milho.

Em estudos com Latossolo Amarelo Distrófico textura muito argilosa, no Oeste do Estado do Pará, Veloso et al., (2012) utilizaram cinco doses de calcário (0, 1, 2, 3, 4 Mg ha^{-1}) com PRNT de 90%, combinadas com a aplicação de 0, 0,5 e $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de gesso agrícola (15% de S e 26% de CaO), para avaliar a resposta da cultura do milho à aplicação de calcário e gesso agrícola. Os autores verificaram que a gessagem, na ausência da calagem, aumentou a produtividade do milho. A produtividade máxima ($5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi obtida com a maior dose de gesso ($1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). O aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis e diminuição do efeito do alumínio tóxico em subsuperfície pela aplicação do gesso agrícola propiciam condições para melhor desenvolvimento do sistema radicular do milho (SOUSA et al., 2005). Com a raiz mais desenvolvida, as plantas conseguem explorar um volume de solo maior, aumentando sua capacidade de absorver água e nutrientes. Como consequência, a produtividade da cultura pode aumentar. Esse aumento, entretanto, pode depender da cultivar de milho, entre outros fatores (RAIJ et al.,

1998). O gesso também atua no sistema de produção como fornecedor de enxofre (S) para as plantas, de modo que esse suprimento pode contribuir para o aumento da produção da cultura do milho em solo tropical, pobre em matéria orgânica (MIRANDA; MIRANDA, 2008)

As respostas das culturas agrícolas à aplicação de calcário e gesso agrícola e suas combinações ainda não estão bem compreendidas pelos agricultores. Assim, trabalhos com o objetivo de avaliar os efeitos a curtos e longo prazo destes insumos nos atributos químicos, físicos e na produtividade de diferentes culturas de segundo cultivo (safrinha) nos solos do cerrado merecem destaque, principalmente no sistema de manejo de semeadura direta, por se tratar de um ambiente de produção complexo, dinâmico, no qual as interações físicas, químicas e biológicas do solo apresentam-se de forma mais complexa.

3 PROPRIEDADES DO CALCÁRIO

A acidez dos solos tropicais nas regiões de expansão do sistema plantio direto constitui um dos principais fatores que podem limitar a expressão potencial produtiva das espécies cultivadas (PRADO et al., 2003), fato que comprova a necessidade do uso de corretivos de acidez nos solos do cerrado.

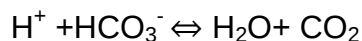
Para a correção do solo, os corretivos mais comuns são os calcários agrícolas, rochas moídas a base de carbonatos, das calcitas (CaCO_3) e das dolomitas ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Assim, os carbonatos de cálcio e de magnésio (CaCO_3 e MgCO_3) dos calcários agrícolas; os óxidos de cálcio e de magnésio (CaO e MgO) na cal virgem; e os hidróxidos de cálcio e de magnésio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$) na cal apagada são os principais compostos neutralizantes da acidez do solo, sendo esses produtos de reação básica, utilizando por exemplo o carbonato (CO_3^{2-}) para complexar o alumínio liberando Ca^{2+} ou Mg^{2+} para a CTC do solo (ALCARDE, 1983; TEDESCO; GIANELLO, 2000).

Calcário é o produto obtido pela moagem da rocha calcária. Seus constituintes são o carbonato de cálcio - CaCO_3 e o carbonato de magnésio - MgCO_3 . Conforme prevê a legislação brasileira, os calcários agrícolas são classificados como calcíticos, quando o teor de MgO é inferior a 5% e dolomíticos quando o teor de MgO é superior a 5% (BRASIL, 2004).

Os calcários são compostos de sais alcalinos ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), visto que o ânion carbonato (CO_3^{2-}) presente neste corretivo atua como um “receptor de prótons”, na medida em que recebe íons H^+ , sendo convertido em água e gás carbônico (RAIJ, 2008). Pela ação neutralizante dos corretivos de acidez, fica claro que o cálcio e o magnésio não são neutralizantes; são nutrientes vegetais. As bases químicas efetivas são CO_3^{2-} , OH^- e SiO_3^{2-} . Isso significa que carbonatos, hidróxidos e silicatos solúveis corrigem a acidez do solo. A solubilidade em água das espécies neutralizantes dos corretivos é baixa: CaCO_3 : 0,014 g/L a 25° C; MgCO_3 : 0,106 g/L a 25° C (RAIJ, 2011).

Após a aplicação do calcário ao solo, o ânion CO_3^{2-} (base forte) é o principal responsável pela hidrólise da água e formação do íon hidroxila (OH^-), que irá neutralizar a acidez ativa (H^+) do solo. Vale ressaltar que o ânion SO_4^{2-} (base fraca) não tem capacidade de hidrolisar a água e produzir hidroxilas.

A dissolução de carbonato de cálcio em cálcio e bicarbonato é representada pelas reações abaixo (RAIJ, 2011).



A hidroxila reage com o íon H^+ da solução do solo, resultando em água. O bicarbonato reage também com H^+ , originando gás carbônico. Assim, a reação tende para direita enquanto existirem íons H^+ na solução do solo (RAIJ, 2011).

A região Centro-Oeste do Brasil é a maior produtora de calcário, com 38,2%, seguida do Sul com 26,6%, Sudeste com 23,0%, Norte com 7,7% e o Nordeste com 4,5%. Em 2013, os principais Estados produtores, responsáveis por cerca de 85% da produção nacional, foram: Mato Grosso, com 19,6%, Paraná, 15,0%, Minas Gerais, 13,9%, Goiás, 11,6%, Rio Grande do Sul, 9,7%, São Paulo, 8,2% e Tocantins, 7,2% (JUNIOR, 2014).

O consumo de calcário agrícola no ano de 2013 foi de 33,471 milhões de toneladas (ABRACAL, 2014) e continua não acompanhando a evolução do consumo dos fertilizantes agrícolas, os quais somente são plenamente potencializados quando o solo recebe calagem adequada, o que não ocorre, em geral, na agricultura brasileira. Desta forma, o setor agrícola vem desperdiçando recursos com fertilizantes por não utilizar uma relação ideal calcário/fertilizante (JUNIOR, 2014). Segundo a Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (2014), para uma correção ideal do solo, o Brasil deveria consumir em média 63 milhões de toneladas de calcário agrícola por ano. Uma relação considerada aceitável pela pesquisa para a agricultura brasileira seria de 2,5 a 3,0 para 1,0, ou seja, para cada tonelada de fertilizante aplicado, seriam necessárias 2,5 a 3,0 toneladas de calcário. Admitindo-se que hoje cerca de 30 milhões de hectares no Brasil já esteja sob sistema de plantio direto consolidado, que demanda menos calcário, a estimativa é que essa relação deveria estar na ordem de 1,5 a 2 toneladas de calcário para cada tonelada de fertilizante consumido no Brasil.

Embora o preço do calcário agrícola seja considerado baixo, principalmente quando comparado com outros insumos utilizados na agricultura, o frete é um dos fatores que desestimulam a sua aquisição pelos

produtores agrícolas. O valor do frete é determinado pela distância da região produtora.

O Plano Nacional de Mineração (PNM-2030) prevê que o consumo de calcário agrícola deverá crescer mais que os demais agrominerais. As projeções para a produção de calcário agrícola são da ordem de 34,1 Mt em 2015, 54,8 Mt em 2022 e 94,1 Mt em 2030 (JUNIOR, 2014).

3.1 Efeitos da calagem nos atributos químicos do solo

A acidez do solo limita a produção agrícola em consideráveis áreas no mundo, em decorrência da toxidez causada por Al e Mn e baixa saturação por bases (COLEMAN; THOMAS, 1967). As raízes das plantas não se desenvolvem bem em solos ácidos, sobretudo por causa da toxidez de Al (PAVAN; BINGHAM; PRATT, 1982) e da deficiência de Ca (RITCHEY et al., 1982). A calagem é a prática mais eficiente para elevar o pH, teores de Ca e saturação por bases e reduzir Al e Mn trocáveis no solo. A reação do calcário, entretanto, é geralmente limitada ao local de sua aplicação no solo. A calagem não tem um efeito rápido na redução da acidez do subsolo, que depende da lixiviação de sais através do perfil do solo.

Os resultados relativos à eficiência da calagem na neutralização da acidez de subsolos são aparentemente discordantes na literatura. Alguns trabalhos mostram que o calcário não se movimenta para camadas mais profundas do solo (RITCHEY et al., 1980; PAVAN et al., 1984), enquanto outros revelam consideráveis aumentos no pH abaixo da região de aplicação do calcário, em áreas de cultivos anuais, preparadas convencionalmente (QUAGGIO et al., 1993; OLIVEIRA; PARRA; COSTA, 1997) ou manejadas no sistema plantio direto (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000). A ação do calcário na neutralização da acidez de subsolos é dificultada pelo aumento da retenção de cátions decorrente da geração de cargas elétricas variáveis negativas com a elevação do pH do solo. Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}) na camada de deposição do calcário (CAIRES, et al., 2004). No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o

HCO_3^- , acompanhado por Ca e Mg, movimenta-se para o subsolo para reagir com a acidez (CAIRES, et al., 2003). Os efeitos da calagem em profundidade somente devem ocorrer quando o pH (em água), na zona de dissolução do calcário, atingir valores da ordem de 5,2 a 5,6 (HELYAR, 1991; RHEINHEIMER et al., 2000). A formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para as camadas mais profundas do solo constituem a hipótese que melhor justifica a diminuição da acidez no subsolo pela calagem, na superfície ou com incorporação, no sistema plantio direto (COSTA, 2000).

A incorporação do calcário em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa no sistema plantio direto proporcionou aumento significativo do pH no subsolo (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) após 11 meses, que permaneceu consistente até 35 meses após a sua aplicação. O calcário incorporado proporcionou aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis, principalmente, nas camadas superficiais (0,0-0,05 e 0,05-0,10 m) e, em menor magnitude, nas camadas mais profundas do solo, conforme o tempo de reação do corretivo (CAIRES, et al., 2003).

Os efeitos do calcário em atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico em casa de vegetação foi verificado por Spera et al (2008) . Após 18 meses a calagem aumentou o pH e os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis e diminuiu os teores de matéria orgânica e de Al trocável.

A influência do calcário e seu efeito residual sobre os atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico textura média da Amazônia foi estudada por Cravo, Smyth e Brasil (2012). Após 50 meses, o teor inicial de Ca + Mg do solo foi reduzido linearmente de 2,25 para 0,25 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e a saturação por Al inicial aumentou de 9 para 60 % na ausência de calcário. Com a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário, verificaram aumento inicial no teor de Ca + Mg para 4,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, porém, após 50 meses da aplicação, houve redução linear até 2,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Essa dose de calcário também foi suficiente para manter a saturação por Al em valor baixo, aumentando para somente 8,5 %, no mesmo período. Esses resultados evidenciam o longo efeito residual do calcário no solo.

Freiria et al (2008) verificaram alterações em atributos químicos de um solo de textura média, em razão da aplicação de calcário incorporado, após 326 dias de incubação do solo em colunas de PVC. Com a incorporação do

corretivo nos primeiros 0,05 m, houve aumento do valor de pH nas camadas de 0,0 a 0,05 e de 0,05 a 0,10 m. Quando o calcário foi incorporado na camada de 0 a 0,10 m, ocorreu correção da acidez até 0,15 m de profundidade e, com a incorporação do corretivo na camada de 0,0 a 0,20 m, o acréscimo no valor de pH se deu até os 0,30 m de profundidade. Com a incorporação mais profunda do corretivo (0,0 a 0,10 e 0,0 a 0,20 m), os aumentos nos teores de Ca+Mg foram verificados até a camada de 0,20 a 0,30 m de profundidade. A movimentação de Ca e de Mg em profundidade pode ser explicada pela complexação orgânica desses cátions (MIYAZAWA; PAVAN; SANTOS, 1996). Segundo esses autores, ligantes orgânicos (L) formam complexos CaL° , MgL° ou CaL^- , MgL^- , o que facilita a mobilidade desses cátions no solo. Na camada subsuperficial, esses cátions divalentes são deslocados dos complexos orgânicos pelo Al^{3+} que formam complexos mais estáveis, aumentando, assim, os teores de Ca e de Mg trocáveis em profundidade (CAIRES et al., 2000). Em relação ao efeito da calagem na saturação por bases, verificou-se que, quando o calcário foi incorporado 0,0 a 0,05, 0,0 a 0,10 ou 0,0 a 0,20 m, o V% aumentou até a camada de 0,30 a 0,40 m de profundidade.

3.2 Efeitos da calagem nos atributos físicos do solo

Estudos que visam relacionar os efeitos da calagem sobre propriedades físicas do solo são de difícil diagnóstico, principalmente em experimentos recentes. Isso por que tais efeitos ocorrem de forma indireta, pela ação do implemento na incorporação do corretivo, ou, ainda, pelo incremento na atividade microbiana ou do sistema radicular das culturas (GRIÈVE et al., 2005). Contudo, resultados obtidos em experimentos de longa duração evidenciam alterações na retenção de água no solo (TESSIER, 2001; BORTOLUZZI; TESSIER, 2002) e na estabilidade da estrutura de acordo com a magnitude da capacidade de troca catiônica e da espécie química predominante nos sítios de troca (PERNES-DEBUYSER; TESSIER, 2004; (BORTOLUZZI; RHEINHEIMER; TESSIER, 2005).

Griève et al. (2005) Verificaram incremento na porosidade do solo e redução da densidade do solo com a calagem. Isso é explicado,

provavelmente, pelo pequeno intervalo de tempo decorrido entre a aplicação do corretivo e as avaliações realizadas.

A aplicação de corretivos da acidez pode promover prejuízos à estabilidade de agregados e a outros atributos físicos do solo, por modificar a composição química da solução do solo. As alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes podem causar tanto a dispersão como a floculação dos coloides, com consequências diretas na agregação das partículas do solo (SETA; KARATHANASIS, 1996). A ação dispersiva dos corretivos pode ser agravada em sistema de semeadura direta, quando grandes quantidades são aplicadas na superfície do solo (COSTA et al., 2004).

No entanto, Albuquerque et al. (2003), Costa et al. (2004), Griève et al. (2005) e Corrêa et al. (2009) verificaram que os corretivos da acidez também podem ter efeito indireto sobre as propriedades físicas do solo, à medida que favorecem a produção de fitomassa aérea e radicular das culturas, e aumentam a adição de matéria orgânica e a atividade microbiana no solo; fatores que auxiliam a formação dos agregados.

Os efeitos do calcário em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico em casa de vegetação foi verificado por Spera et al (2008) . Após 18 meses a calagem aumentou a densidade do solo, microporosidade e a argila dispersa em água e diminuiu a macroporosidade na camada de 0,15-0,20 m.

Os efeitos das práticas de calagem e gessagem nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico típico cultivado sob sistema de plantio direto há mais de dez anos foram avaliados por Bertollo (2014). A microporosidade não foi influenciada pelo manejo de solo e pelas doses de calcário e gesso. Os microporos são relativamente menos influenciados pelos manejos de solo do que os macroporos (SILVA; KAY, 1997), pois a microporosidade está relacionada com a organização das partículas minerais primárias do solo isoladas e com os microagregados, não sendo alterada com as práticas de manejo utilizadas (LAL; SHUKLA, 2005).

Rosa et al. (2013) encontraram aumentos nos níveis de agregação de um Latossolo Vermelho distroférico em área com aplicação de calcário. A calagem aumentou a percentagem de agregados nas peneiras de 9,5 mm. O efeito da calagem no aumento da porcentagem de agregados em peneiras maiores pode estar associado aos teores de matéria orgânica, que poderiam

estar atuando como agente cimentante dos agregados. Além desse efeito, as cargas de Ca^{2+} e Mg^{2+} podem atuar na floculação das partículas de argila, por meio do mecanismo de pontes de cátions (COSTA et al., 2004).

O diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados de um Latossolo Vermelho foi influenciado pela aplicação de calcário, onde a aplicação de 6 Mg ha^{-1} e a reaplicação sete anos depois de mais 3 Mg ha^{-1} apresentaram maior DMP do que a aplicação isolada realizada somente em um ano (BRIEDIS et al., 2012).

3.3 Efeitos da calagem na produtividade de milho

O aumento de produtividade de milho em função da calagem está relacionado à diminuição da acidez do solo, que estimula o incremento nos componentes de produção da cultura, como massa de espiga, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e massa de grãos por espiga (PRADO, 2001).

O efeito de doses de calcário e de gesso na produtividade do milho (*Zea mays*) cultivado em solo ácido no oeste do Estado do Pará foi avaliado por Veloso et al, (2012). A aplicação de calcário, na ausência da gessagem, aumentou a produtividade de milho. A produtividade máxima estimada (6,13 Mg ha^{-1}) foi obtida com a dose de 2,1 Mg ha^{-1} de calcário. Resposta semelhante foi observada em Latossolo argiloso excessivamente ácido ($\text{V} = 3,7\%$) na região do Cerrado Brasileiro, em que a aplicação de 2 Mg ha^{-1} de calcário resultou na produtividade de 6,76 Mg ha^{-1} de grãos (MIRANDA et al., 2005).

De acordo Veloso et al., (2012) a necessidade de calcário foi menor com a aplicação de gesso. Produtividades máximas semelhantes foram obtidas com aplicação exclusiva de 2,1 Mg ha^{-1} de calcário ou aplicação combinada de 1,4 Mg ha^{-1} de calcário e 0,5 Mg ha^{-1} de gesso ou, então, 1,3 Mg ha^{-1} de calcário e 1,0 Mg ha^{-1} de gesso. Essa menor necessidade de calcário não deve ser interpretada como uma oportunidade para substituir calcário por gesso, mas como uma resposta à complementariedade entre esses insumos. O calcário expressa seus efeitos com maior eficiência na camada do solo na qual é incorporado, ou seja, geralmente até 0,2 m de profundidade. Abaixo dessa

camada, o gesso complementa o efeito do calcário, não corrigindo a acidez, mas tornando a subsuperfície quimicamente mais adequada ao desenvolvimento radicular das plantas.

O efeito residual do calcário incorporado para o milho, cultivado posteriormente, sob plantio convencional e direto, promoveu acréscimos significativos de produtividade no quinto e sexto anos após a aplicação do calcário. Com o efeito residual da dose de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário, obteve-se o dobro da produtividade de grãos do tratamento sem calcário. Na média dos tratamentos, a produtividade do milho sob plantio convencional foi maior que sob plantio direto, e esse efeito foi mais evidente quando não se aplicou calcário (MIRANDA; MIRANDA, 2007).

Aumentos consideráveis na produção de milho com a aplicação de calcário incorporado ao solo em sistema de preparo convencional têm sido descritos na literatura (GONZALES-ERICO et al., 1979; CAMARGO et al., 1982; RAIJ et al., 1983; ERNANI et al., 1998), mesmo para genótipos com tolerância ao alumínio (RAIJ et al., 1998).

Nora et al., (2014) constataram aumento significativo da produtividade do milho em uma área comercial manejada sob sistema plantio direto de longa duração, em um Latossolo, sendo que o tratamento que recebeu a maior dose de gesso combinada ao calcário ($5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ gesso + $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ calcário) resultou na maior produtividade de milho ($12,07 \text{ Mg ha}^{-1}$), a qual foi 9,92% superior ao tratamento controle.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABRACAL, **Associação Brasileira dos produtores de calcário**, 2014. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3131>.
- ADÁMOLI, J.; MACÊDO, J., AZEVEDO, L.G. de; NETTO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos Cerrados: Tecnologias e Estratégias de Manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília – EMBRAPA CPAC, 1985. cap. 2, p. 33-74.
- ADAMS, F.; RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite. A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 41: 686-692, 1977.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.799-806, 2003.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas, **Boletim Técnico Nº6**, São Paulo, ANDA, 24 p, 2005.
- ALVA, A.K.; SUMNER, M.E. Effects of phosphogypsum or calcium sulphate on aluminon reactive aluminum in solutions at varying pH. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.15, p.1715-1730, 1988.
- ALVA, A.K.; GASCHO, G.J.; GUANG, Y. Gypsum material effects on peanut and soil calcium. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, p.1727-1744, 1989.
- ALVAREZ, V. H. V.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. de. Uso de Gesso Agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V. V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.289.
- AMEZKETA, E.; ARAGUES, R.; GAZOL, R. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, n.2, p.983-987, 2005. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301002395>.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Science Agriculture**, v.58, p.555-560, 2001.

BERTOLLO, A.M. **Propriedades físicas de um Latossolo após calagem, gessagem em manejos de solo**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS - FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, RS. 2014. Disponível em: http://coral.ufsm.br/ppgaaa/images/Altamir_Mateus_Bertollo.pdf. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.

BEZERRA, M. S. **O potencial dos agrominerais alternativos na região Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

BLUM, S. C. **Atributos químicos de um Latossolo e comportamento do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela aplicação e reaplicação de gesso agrícola**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em: http://bicentede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=153.

BLUM, J., CAIRES, E. F., AYUB, R. A., FONSECA, A., SOZIM, M., FAUATE, M., Soil chemical attributes and grape yield as affected by gypsum application in Southern Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.42, p.1434-1443, 2011.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F. & COSTA. L. M. da. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.125-130, 1997.

BORTOLUZZI, E.C.; TESSIER, D. La pratique du chaulage em système de semis direct: Une expérience au Sud du Brésil (Rio Grande do Sul). **Étude Gestion Sol**, 9: 187-196, 2002.

BORTOLUZZI, E.C.; RHEINHEIMER, D.S.; TESSIER, D. Na estimation of water retention properties in sandy soil of Southern Brazil: **SYMPOSIUM INTERNACIONAL ON THE MANAGEMENT OF SOIL: A holistic approach for sustainable development of problem soils in the tropics**, 1., Khon Kaen, 2005. Proceedings. Khon Kaen,FAO, 2005, p. 189-193.

BRAGA, F. A.; VALE, F. R.; MUNIZ, J. A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 69-77, 1995.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 004 de 02/08/2004**. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos corretivos de acidez, corretivos de alcalinidade, corretivos de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Brasília, 2004.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; NETO, C.Q.; FERREIRA, A.O.; CANALLI, L.B.; SANTOS, L.B.; . Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, p. 80-88, 2012. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.10.011>.

BUOL, S. W.; HOLF, F.D.; MC CRACKEN, Y. **Genesis y classificacion de suelos**. Editorial Irillas: México, 1981. 417p.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 161-169, 2000. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v24n1/18.pdf>.

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. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S01006832003000200008&script=sci_abstract&tlng=pt.

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**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n1/04.pdf>.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality as function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390162006000400008&script=sci_arttext.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 357-364, 2002. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010390162002000200023.

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, 2001. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n4/25.pdf>.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/16.pdf>.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F. & CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:87-98, 2006. Acesso em: 14 de Janeiro de 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832006000100010&script=sci_abstract&tlng=pt.

CAIRES, E. F., JORIS, H. A. W., CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 45-53, 2011a.

CAIRES, E. F.; MASCHIETTO, E. H. G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Surface application of gypsum in low acidic Oxisoil under no-till cropping system. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 45-53, 2011b.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & ADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:125-136, 2004. Acesso em: 05 de janeiro de 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a13v28n1>.

CAMARGO, A.P.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ROCHA, T.R.; NAGAI, V. & MASCARENHAS, H.A.A. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 17:1007-1012, 1982.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, n. 3, p. 275-280, 1989.

CARVALHO, M.C.S. **Sulfato de cálcio, fosfogesso e carbonato de cálcio na melhoria do ambiente radicular de subsolos ácidos**. Piracicaba, 1994. 84p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

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**, The Hague, v.192, n. 1, p. 37-48, 1997. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1004285113189>.

CARVALHO, L. C. T. **Análise comparativa entre diferentes metodologias utilizadas para recomendação de gesso agrícola em solos cultivados com lavoura de café na região sul de minas gerais**. 2008. 39f. Monografia (Graduação em Cafeicultura) – Escola Federal Agrotécnica de Muzambinho – EFAM, Muzambinho.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M.E.; MÜLLER, M.M.L. & FOLONI, J.S.S. **Qualidade física do solo: Métodos de estudo – sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal, Funep, 2002. 225p.

CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 55, p.1407-1413, 1991.

CHAN, K.Y., HEENAN, D.P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p. 1841– 1844. 1999. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em:

<https://www.soils.org/publications/sssai/abstracts/63/6/1841>.

CRAVO, M.S.; SMYTH.; BRASIL, Calagem em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.36, n.3, 2012. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/S010006832012000300020>.

COLEMAN, N.T; THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. IN: PEARSON, R.W; ADAMS, F., **Soil acidity and liming**. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.

CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MORAES, M.H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.263-272, 2009.

COSTA, A. **Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja-trigo em sistema plantio direto**. 2000. 146 f. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

COSTA, C.H.M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. 2011, 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em: <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0678.pdf>.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.281-4, 2004.

COSTA, M. J. **Manejo de solo e efeito residual da gessagem sobre atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho distroférrico e no desenvolvimento da soja**. 2006. 50 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2006. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em:

http://www.ufgd.edu.br/tesesimplificado/tde_arquivos/1/TDE-2007-08-10T101032Z-3/Publico/MichelleJimenez.pdf.

COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 29, p. 701-708, 2007. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180786212007000500017&script=sci_artt_ext.

DIAS, L.E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica, Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico 7).

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** – Paraná 2005. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 218p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n.6).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantio direto reduz efeitos da degradação do solo**. 2012. Acesso em 11 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<http://hotsites.sct.embrapa.br/diacampo/programacao/2011/plantio-direto-reduz-efeitos-dadegradacao-do-solo>. Acesso Setembro 2012.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007. . Acesso em: 15 de Dezembro de 2014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832007000200022&script=sci_artt_ext.

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

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos e gesso agrícola. **Scientia Agrícola**. v. 58, n.4, p 825-831, 2001.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. A melhoria da acidez do solo de Latossolos tropicais pela aplicação de calcário para a produção agrícola sustentável. **Avanços em Agronomia**, v.99, p.345-399, 2008.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v. 99, p. 345-399. 2008.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V.C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, n.10, p.1279-1289, 1997.

FAGERIA, N.K.; BALIAGAR, V.C. E WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. **J. Plant Nutr.**, New York, v. 11, n.3, p.303-319, 1988.

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P. Acid - subsoil amelioration. II Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, 52:175-180, 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. Acesso em: 23 de Dezembro de 2014. Disponível em:

<https://www.soils.org/publications/sssai/abstracts/64/2/652>.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380 p.

FREIRE, F.J.; FREIRE, M.B.G.S.; ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, A.C. Gesso mineral do Araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, BRASIL. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, vol. 4, p.199-213, 2007. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34843/1/AAPCA-V4-Revisao-07.pdf>.

FREIRIA, A.C.; MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p. 285-291, 2008. Acesso em 22 de Fevereiro de 2015, Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1738>.

FREITAS, B.J. A disposição do fosfogesso e seus impactos ambientais. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. **Anais**. Uberaba, IBRAFOS, 1992. p.325-339.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMANN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, 43:1155-1158, 1979.

GRIEVE, I.C.; DAVIDSON, D.A.; BRUNEAU, P.M.C. Effects of liming on void space and agregation in na upland grassland soil. **Geoderma**, 125:39-48, 2005.

HELYAR, K.R. The management of acid soils. IN: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRMAN, R.P., **Plant-Soil interactions at low pH**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1991, p. 365-382.

JÚNIOR, F.L.M. **Calcário Agrícola**. Sumário Mineral 2014, Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, 2014. Acesso em 22 de Fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/calcario-agricola-sumario-mineral-2014>.

KORNDÖRFER, G. H. **Gesso Agrícola: adubos e adubação**. Universidade Federal de Uberlândia. 2008. Acesso em: 25 Janeiro de 2015. Disponível em:

www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Transp.-%20S+GESSO%2010.pdf.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. Ohio, 2005. 699 p.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. ANDA, boletim técnico nº5, 2ª edição, São Paulo, 1994, 62p.

Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em:

http://www.anda.org.br/multimidia/boletim_05.pdf.

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

LOYOLA JR, E. & PAVAN, M.A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:131-138, 1989.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. et al. Gipsita. In: LYRA SOBRINHO, A. C. P. et al.. **Balanço mineral brasileiro**: 2001. Brasília, DF: DNPM, 2002. p. 7-23.

MAHAN, B.M. **Química: Um curso universitário**. 6.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2003. 581p.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** São Paulo: Nagy, 1992. p. 41-66.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F.; JÚNIOR, J.L.; MALAVOLTA, M. Micronutrientes e metais pesados – Essencialidade e toxidez. In: PATERNIANI, E. **Ciência, Agricultura e Sociedade**. Embrapa Informação Tecnológica, DF, 2006. Acesso em 11 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/capitulo_malavolta_micro.pdf.

MARIA, I.C.; ROSSETTO, E.J.; AMBROSANO, E.J. & CASTRO, O.M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Science Agriculture**, 50:87-98, 1993. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em: www.revistas.usp.br/sa/article/download/20094/22211.

MASCHIETTO, E.H.G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. (2009). 56 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2009. Acesso em: 22 de dezembro de 2014. Disponível em:

http://bicen-tede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=443.

MATOS, T. H. C. **Caracterização hidromecânica do fosfogesso e das misturas solo-fosfogesso**. 2011. 139 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<http://repositorio.unb.br/handle/10482/9699>.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; DALLA ROSA, J.; GATIBONI, L. C. Calcium: magnesium ratio in amendments of soil acidity: nutrition and initial development of corn plants in a Humic Alic Cambisol. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, p.799-806, 2008. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/19406>

MEURER, E.J.; RHEINHEIMER, D. & BISSANI, C.A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E.J., ed. **Fundamentos da química do solo**. Porto Alegre, Evangraf, 2006. p.117-162.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão/trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do

Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal – Guarapuava, 2012. Acesso em: Agosto/2014. Disponível em:

http://unicentroagronomia.com/destino_arquivo/dSSERTACAO_final_leandro_michalovicz_2.pdf.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. **Adubação de enxofre para a cultura do milho sob plantio convencional e direto em solo de cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 143). Acesso em: 10 de Fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://www.cpac.embrapa.br/download/1492/t>.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. **Efeito Residual do Calcário para o Milho sob Plantio Direto e Convencional em Solo de Cerrado**. Comunicado Técnico, 133, Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 2007. 4 p. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/download/253/t>.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T. A.; GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005. Acesso em: 15 de dezembro de 2014. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n6/24834.pdf>.

MISRA, R.; DEXTER, A. & ALSTON, A. Penetration of soil aggregates of finite size. II. **Plant roots**. **Plant Soil**, 94: 59-85, 1986. Acesso em: 15 de dezembro de 2014. Disponível em:

http://download.springer.com/static/pdf/673/art%253A10.1007%252FBF02380589.pdf?auth66=1423484374_c1132f6ea9d3d8817451182b39913b4d&ext=.pdf.

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

MÜLLER, M.M.L.; TORMENA, C.A.; GENÚ, A.M.; KRAMER, L.F.M.; MICHALOVICZ, L.; CAIRES, E.F. Structural Quality of a No-Tillage Red Latosol 50 Months After Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1005-1013, 2012. Acesso em: Agosto/2014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832012000300030&script=sci_arttext&tlng=pt.

NASCIMENTO, C.W.A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife. Imprensa Universitária. 2003. (Apostila do Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE).

NAVA, G.; ERNANI, P.R.; SÁ, A.A. & PEREIRA, A.J. Soil Composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:215-222, 2012. Acesso em: 05 de janeiro de 2014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832012000100022.

NORA, D.D.; AMADO, T.J.C.; BORTOLOTO, R.P.; FERREIRA, A.O.; KUNZ, C.K.J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, V. 26, n. 1, p. 1 - 10, Jan./Mar. 2014. Acesso em: 05 de janeiro de 2014. Disponível em:

https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrb.edu.br%2Fmagistra%2F2000-atual%2Fvolume-26-ano-2014%2Fnumero-1-jan-a-mar%2Fartigos%2F1394-alteracoes-quimicas-do-solo-e-produtividade-do-milho-com-aplicacao-de-gesso-combinado-com-calcario%2Fdownload&ei=zdTrVInlOqSSsQTWg4KADA&usg=AFQjCNECSKgQEKRvb6g8C_uNDacGg2ynTg.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3 ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592p.
OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Till. Res.**, 38:47-57, 1996.

OLIVEIRA, E.L.; PARRA M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:65-70, 1997.

OLMOS, J. I. L.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil sua caracterização e distribuição. **Ciência Cultural**, v. 28, n. 2, p. 171-180, 1976.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, 152:139-150, 1991. Acesso em: 10 de fevereiro de 2015. Disponível em:

http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/1991/09000/BIMODAL_POROSITY_AND_UNSATURATED_HYDRAULIC.1.aspx.

PAOLINELLI, M. T. et al. Aplicação direta do fosfogesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1985, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA, 1986. p. 197-207.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A.C.V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:495-505, 2014. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832014000200014&script=sci_arttext.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, FT. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, 48:33-38, 1984. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<https://www.soils.org/publications/sssai/abstracts/48/1/SS0480010033?access=0&view=pdf>.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 and CaSO_4 . **Soil Science American Journal**, 46: 1201-1207, 1982.

PERNES-DEBUYSER, A.; TESSIER, D. Soil physic properties affected by long term fertilizer. **European Journal of Soil Science**, 55: 505-512, 2004.

PESSONI, P.T. 2012. **Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP. 2012. Disponível em:

<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1212210%20Patricia%20Terezinha%20Pessionni.pdf>. Acesso em 01 de agosto de 2014.

PRADO, R.M. Efeito residual do calcário sob diferentes modos de incorporação antes da instalação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.7, n. 3, p.478-482, 2003. Acesso em: 10 de Dezembro de 2014. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000300012>.

PRADO, R. de M. Saturação por bases e híbridos de milho sob sistema plantio direto. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 391-394, 2001. . Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000200024. Acesso em 20 de fevereiro de 2014.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e Calagem em Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

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

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 3, p. 375-383, 1993. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3888/1179>.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1988. 88p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. IPNI, 2011. 420p.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2008. 233 p.

RAIJ, B. van. et al. Efeito de calcário e de gesso para soja cultivada em latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 3, p. 305-312, 1994.

RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N.M. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, 42:149-156, 1983.

RAIJ, B. van; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em

três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 101-108, 1998. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006831998000100014&script=sci_abs tract&tlng=pt.

RAMOS, B.Z.; TOLEDO, J.P.V.F.; LIMA, J.M.; SERAFIM, M.E.; BASTOS, A.R.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; COSCIONE, A.R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e ph na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1018-1026, 2013. Acesso em: 10 de Dezembro de 2014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832013000400019&script=sci_artt ext.

RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F. & FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1687-1698, 2011. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100068320110005000 23.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, Pretoria, v. 4, n. 1, p. 1-5, 1972.

RESENDE, M.; CURI, N.; L.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 304 p.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.C.; GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:797-805, 2000. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v24n4/12.pdf>.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, 30:263-268, 2000. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33113560011>.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**:

5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

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.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, 72:40-44, 1980. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2015. Disponível em: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAH567.pdf.

ROCHA, A. T. D. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. (2007). 78 p. (Doctor Scientiae) - Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<http://ufrpe.br/pgs/portal/files/teses/2007/Alexandre%20Tavares%20da%20Rocha.pdf>.

ROSA, Y. B. C. J. et al. Calcário e gesso na produção de bulbos de Amarílis em Latossolo Vermelho Distroférrico, **Revista Agrarian**, v. 6, n. 19, p. 43-50, 2013. Acesso em: 13 de Fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1928/1375>.

ROSA JUNIOR, E. J.; CREMON, C.; MARTINS, R.M.G.; RODRIGUES, E. T. Gesso e calcário como condicionadores de atributos de um Latossolo sob cultivo de soja-milho. Cerrados: **Revista Ciência Agrária**, Campo Grande: UFMS, v.2/4, n. 3/8, p.45-50, 1999/2001.

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, p. 37-44, 2006. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/2170/2118>.

ROSA JUNIOR, E. J.; VITORINO, A. C. T.; VITORINO, P. F. P. G. . Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo Distrófico de Dourados - MS. **Revista Científica**, UFMS, Campo Grande - MS, 1: 5-12. 1994.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. de; Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na

superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

ROSOLEM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeito da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:103-109, 1984.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M. & PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, 71:30-40, 2012. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/brag/v71n1/aop_801_12.pdf.

SETA, A.K.; KARATHANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. **Geoderma**, v.74, p.255-266, 1996.

SFAR FELFOUL, H., CLASTRES, P., BEN OUEZDOU, M. & CARLES-GIBERGUES, A. Propriétés et perspectives de valorization du phosphogypse l'exemple de la Tunisie. **Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management**, EPCOWM'2002, Tunis, Tunisie, 1: 510-520, 2002. Acesso em: 13 de Janeiro de 2015. Disponível em: www.geocities.jp/epcowmjp/.../510-520Sfar.pdf.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A. & FEY, M.V. Use of gypsum on soils: A review. **Adv. Soil Sci.**, 9:1-111, 1989.

SILVA, A. P. da.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 877-883, 1997.

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

SIQUEIRA NETO, M. M. PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009. <http://dx.doi.org/10.4025/ActaSciAgron.v31i4.792>
SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 81-90, 2007. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832007000100009.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 675-688, 2008. Acesso em: 11 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832008000200022.

SOUZA, C.H.E. et al. Matéria orgânica e alterações de propriedades físicas e químicas de Solo sob sistemas de manejo no cerrado, **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v.21, n.3, p.226-232, 2009.

SOUZA, F.R. **Efeito do manejo do solo e do gesso residual na cultura da soja e em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico**. 2009. 46 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em:

http://www.ufgd.edu.br/tedesimplificado/tde_arquivos/1/TDE-2011-1121T110615Z-142/Publico/FabioRegisdeSouza.pdf.

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, Y.B.C.J.; ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012. Acesso em: 10 de outubro de 2014. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76724/1/semina.pdf>.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 19 p. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://www.cpac.embrapa.br/download/15/t>.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & REIN, T.A. **O aumento da produção no cerrado com uso de gesso agrícola**. 2001. Acesso em: 10 de fevereiro de 2015. Disponível em:

http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Gesso%20agr%C3%ADcola.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. **Uso do Gesso no solo de cerrado**. In: Anais do I Seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura. Brasília, Embrapa-DDT, p.119-144, 1986.

SPERA, S.T.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUV, P.A.V.; SANTOS, H.P.; FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2613-2620, 2008. Acesso em: 21 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32nspe/02.pdf>.

STONE, L. F. & SILVERIA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.395-401, 2001.

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.

TEDESCO. M. J.; GIANELLO. C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI. J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul. 2000. p. 95-113.

TESSIER, D. Influence dês charges superficielles sur lês propriétés physiques des sols. IN: **Colloque l'acidification des sols: origine, approche, enjeux et maitrise**. Versailles, AFES/INRA, 2001. p. 13-14.

TIRADO -CORBALA , R. **A lysimeter study of vadose zone porosity and water movement in gypsum amended soils**. Columbus, Ohio State University, 2010. 238p. (Tese de Doutorado). Acesso em: 10 de fevereiro de 2015. Disponível em:

https://etd.ohiolink.edu/ap/10?0::NO:10:P10_ACCESSION_NUM:osu1290111537.

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. Acesso em: 08 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<http://www.caes.uga.edu/commodities/fieldcrops/forages/events/SHC14/23%20Gypsum/Toma%20Alfalfa%20Paper001.pdf>.

VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S. & VEIGAS, I.A.J.M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Science Agriculture**, 49:123-128, 1992. Acesso em: 07 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390161992000400016&script=sci_arttext.

VELOSO, C.A.C.; SILVA, A.R.; FRANZINI, V.I.; SILVA, A.R. **Produtividade do milho no Oeste do Pará em função de doses de calcário e gesso**. Embrapa Amazônia Oriental, PA, 2012. Acesso em: 07 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82650/1/Oriental-BPD81.pdf>.

VILELA, I.; SOUSA, D.M.G. SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Embrapa Informação Tecnológica. **CERRADO: correção do solo e adubação**. 2ª. Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2044. p. 169-183.

VITTI, G. C. Acidez do solo, calagem e gessagem. In: **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Fundação Cargill. Ilha Solteira, SP. 1987.

VITTI, G.C.; LIMA, E. & CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-326.

VITTI, C. G.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2297-2305, 2008. Acesso em: 03 de Janeiro de 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a09.pdf>.

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**, 37:110-117, 2007b. Acesso em: 05 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782007000100018.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F. & CAIRES, E.F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, 65:190-203, 2008. Acesso em: 07 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390162008000200013&script=sci_arttext.

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, 2007.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.487-495, 2007a. Acesso em: 08 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000687052007000300016.

ZANARDO, A.; MARQUES JÚNIOR, J. Conceitos básicos em mineralogia. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**: Parte I - conceitos básicos. Viçosa, MG: SBCS, 2009. Cap.II. p. 73-150.

ZHANG, X.C., NORTON, L.D. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. **Journal Hydrology**, 260, p. 194– 205. 2002. Acesso em: 10 de Novembro de 2014. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169401006126>

CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DOIS MANEJOS E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO

RESUMO

O uso do calcário e gesso agrícola e o manejo do solo podem influenciar seus atributos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do manejo, calcário e gesso agrícola sobre os atributos do solo e produtividade de milho segundo cultivo. O experimento foi conduzido em Chapadão do Sul-MS, sendo disposto no delineamento de blocos casualizados com os fatores arranjados em parcelas subdivididas. As parcelas receberam os níveis dos fatores sistema de manejo convencional e direto e as subparcelas as aplicações de calcário e gesso agrícola (Controle, Calcário ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gesso (2 Mg ha^{-1}), Calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso ($7,126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), com quatro repetições. O sistema de semeadura direta proporcionou maior teor de cálcio em relação ao manejo convencional na camada superficial. O sistema de manejo convencional proporcionou maior teor de K em relação ao sistema de semeadura direta na camada de 0,10-0,20 m. Não houve efeito residual da calagem e gessagem no pH, acidez potencial, teor de magnésio e alumínio trocável e saturação por alumínio nas profundidades (0,0- 0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m). A aplicação conjunta de calcário e gesso promoveu aumento do teor de cálcio, fósforo, Soma de Bases e CTC no plantio convencional (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m). A gessagem aumentou o teor de cálcio, fósforo, Soma de Bases e CTC na semeadura direta (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m).

PALAVRAS CHAVE: fosfogesso, plantio direto, Cerrado, manejo do solo.

CHAPTER 1 - CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL UNDER TWO MANAGEMENT AND RESIDUAL EFFECT OF LIME AND GYPSUM**ABSTRACT**

The use of limestone and gypsum and soil management can influence its attributes. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of management, limestone and gypsum on soil attributes and corn yield second crop. The experiment was conducted in Chapadão do Sul- (Brazil), being arranged in a randomized block design, in split plot arranged factors. The plots received the levels of conventional management and no-tillage and the split applications of lime and gypsum (Control, Limestone ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gypsum (2 Mg ha^{-1}), Limestone recommended dose + Gypsum ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Limestone half the recommended dose + Gypsum ($1.781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) and Limestone twice the recommended dose + Gypsum ($7.126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), with four replications. The tillage system provided greater calcium content compared to conventional management in the surface layer. The conventional management system provided higher K content in relation to tillage in the 0.10-0.20 m layer. There was no residual effect of lime and gypsum in pH, potential acidity, magnesium content and exchangeable aluminum and aluminum saturation depths (0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m). The joint application of lime and gypsum promoted increased calcium, phosphorus, bases and CTC Sum in conventional tillage (0.10-0.20 and 0.20-0.30 m). The gypsum increased the amount of calcium, phosphorus, Bases Sum of CTC and no tillage (0.10-0.20 and 0.20-0.30 m) .

Key words: phosphogypsum, no-tillage, *Cerrado and soil management*.

INTRODUÇÃO

Na implantação do sistema de semeadura direta e no plantio convencional a incorporação profunda do calcário visando a correção da acidez proporciona benefícios na produção agrícola (PRADO & ROQUE, 2002), pois a acidez dos solos tropicais nas regiões de expansão da agricultura constitui um dos principais fatores que podem limitar a expressão do potencial produtivo das espécies cultivadas (PRADO et al., 2003).

A deficiência de cálcio tanto na superfície quanto na subsuperfície nos solos do cerrado, que pode estar ou não associada à toxidez de alumínio, constitui em problema potencial para a agricultura da região. Aproximadamente, 90% da área agricultável do cerrado apresenta em sua subsuperfície teor de cálcio inferior a $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Considerando o valor de saturação de alumínio acima de 10% como prejudicial para o crescimento radicular das plantas, verifica-se que na subsuperfície, 70% da área agricultável do cerrado apresentam índices superiores a esse valor. Nessas condições, o sistema radicular das culturas não se desenvolve e a planta deixa de absorver água e nutrientes nele contidos (SOUZA, LOBATO & REIN, 2001).

A calagem tem ação limitada ao local de aplicação, não tendo efeito rápido na redução da acidez de camadas mais profundas, o que ocorre quando o material é incorporado ao solo ou com a lixiviação de carbonatos através do perfil do solo, proporcionando melhores condições dos atributos químicos, resultando em melhores produtividades (BLUM et al., 2013). Enquanto o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) atua como condicionador do solo apresentando alta mobilidade no perfil, capaz de disponibilizar cálcio (Ca^{+2}) e enxofre (SO_4^{-2}) em solução e de ser lixiviado, enriquecendo de nutrientes as camadas subsuperficiais e reduzindo a saturação por alumínio (Al^{+3}) em profundidade (CAIRES et al., 2008).

Assim, a aplicação conjunta de gesso e calcário pode compensar o efeito reduzido de reação do calcário apenas no local de aplicação, uma vez que a gessagem, mesmo com aplicação superficial sem incorporação, permite que o gesso atue nas camadas subsuperficiais (CAIRES et al., 2003).

A influência do calcário nos atributos químicos do solo relatados na literatura geralmente se limita à camada arável (0,0-0,2 m), devido à baixa solubilidade do calcário (ALCARDE, 2005; CAIRES et al., 2006) e da lenta movimentação descendente de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil (RHEINHEIMER et al., 2000).

Os efeitos da calagem e da gessagem nos atributos químicos do solo são amplamente conhecidos na literatura, mas a sua magnitude em relação aos efeitos na camada superficial e subsuperficial é dependente do tempo após a aplicação desses insumos (PAULETTI et al., 2014).

O tempo de reação do calcário pode variar de acordo com a dose utilizada e da forma como o material é aplicado. O calcário incorporado no sistema plantio direto apresentou maior reação nas camadas superficiais de um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa entre 23 e 35 meses após a aplicação. Os autores verificaram que o calcário, quando incorporado, proporcionou aumento significativo do pH no subsolo (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) após 11 meses, que permaneceu consistente até 35 meses após a sua aplicação (CAIRES et al., 2003).

Para o gesso agrícola, quanto maior o lapso entre a gessagem e a análise do solo, mais acentuado é a influência do gesso nos atributos químicos do solo (PAULETTI et al., 2014). O gesso agrícola apresenta efeito residual no solo quando aplicado em grande quantidade, sobretudo em solos argilosos (CAIRES, JORIS & CHURKA, 2011; BLUM et al., 2011). Aos 36 e 72 meses após a aplicação superficial

sem incorporação de gesso agrícola em sistema de semeadura direta, os autores verificaram redução na saturação por alumínio, aumento no pH e nos teores de cálcio, lixiviação de magnésio e ausência de lixiviação de potássio no perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (PAULETTI et al., 2014).

Estes pontos enfatizam a necessidade de calagem e gessagem, seja no manejo de semeadura direta ou convencional, para melhorar a fertilidade dos solos do cerrado e assegurar o sucesso destes solos na produção de alimentos. Nesse contexto, o uso do calcário e do gesso agrícola é estudado e comprovado como a forma menos dispendiosa e mais barata de correção da acidez e formação de perfil do solo, respectivamente.

Dessa forma, pesquisas que identifiquem o efeito residual do calcário e gesso agrícola nos atributos químicos dos solos do cerrado, apontando alternativas que possibilitem a melhoria destes atributos no perfil do solo em sistema de manejo direto e convencional, podem viabilizar a permanência e o sucesso a longo prazo destes sistemas na agricultura brasileira.

Baseando-se no exposto, adotou-se como hipótese neste trabalho que a aplicação superficial de gesso e calcário incorporado interfere nos atributos químicos do solo. Assim, objetivou-se nesta pesquisa avaliar os atributos químicos do solo sob influência do efeito residual de condicionadores químicos (gesso e calcário) em dois sistemas de manejo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Município de Chapadão do Sul, Estado de Mato Grosso do Sul, sendo as coordenadas geográficas 18°46'13,4" S e 52°37'19,8" W e altitude de 819 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estações bem definidas, chuvosa no verão e seca no inverno, apresenta temperatura média anual variando de 13°C a 28°C, precipitação média anual de 1.850 mm e umidade relativa média anual de 64,8% (CASTRO et al., 2012).

A preparação da área experimental iniciou-se em 10 de outubro de 2011 com a aplicação e incorporação de calcário em área total, sendo a profundidade de trabalho do escarificador de 0,25 m. Após uma semana, foi realizada aplicação superficial de gesso agrícola em área total, seguida de gradagem no solo, tanto no sistema de manejo convencional (SMC) quanto no sistema de semeadura direta (SSD), antes da semeadura da primeira sucessão soja/milho. No condicionamento químico do solo, utilizou-se calcário dolomítico com 23,3% de CaO, 17,5% de MgO e 75% de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) e gesso agrícola com 18,63% de cálcio e 15,70% de enxofre. A dose de calcário adotada foi para elevar a saturação por bases para 74% na camada de 0,0-0,20 m. As recomendações para a calagem e gessagem seguiram as recomendações de Sousa & Lobato (2004).

Os critérios adotados para recomendação do gesso agrícola são saturação por alumínio (m) maior que 20% ou o teor de cálcio menor que 0,5 cmol_c dm⁻³ na camada de 0,20-0,40 m de profundidade. A quantidade de gesso agrícola a ser aplicada ao solo pode ser determinada em função do teor de argila das camadas inferiores, pela fórmula: Dose de gesso (kg ha⁻¹) = 50 x teor de argila (%) (SOUSA & LOBATO, 2004).

É importante destacar que a área experimental no passado foi utilizada como lavoura comercial com sistema de semeadura direta e atualmente nos últimos três anos ocupada com a cultura da soja no verão e o milho na segunda safra. No

histórico da área constam adubações com fosfato natural reativo. Na Tabela 1 consta a análise química da área experimental antes da instalação do experimento, com amostras retiradas na profundidade de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental em duas profundidades de amostragem realizada antes da instalação do experimento. Chapadão do Sul – MS – 2011.

Prof. (m)	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Ca	Mg	H + Al	CTC cmol _c dm ⁻³	Al cmol _c dm ⁻³	SB	t	M	V %	M.O g dm ⁻³
0,0-0,2	4,5	11,1	109,48	2,7	1,0	5,0	9,0	0,07	3,98	4,05	1,7	44,3	37,7
0,2-0,4	4,8	3,6	74,29	1,7	0,6	5,5	8,0	0,14	2,49	2,63	5,3	31,2	24,6

A caracterização da textura foi realizada pelo método do densímetro, conforme Embrapa (2009). O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 2 encontra-se a caracterização granulométrica do solo da área experimental.

Tabela 2. Caracterização granulométrica do solo da área experimental em diferentes profundidades. Chapadão do Sul – MS – 2011.

Frações do Solo (g kg ⁻¹)	Profundidade (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
Argila	400,40	400,40	400,40
Silte	99,60	99,60	95,20
Areia	500,00	500,00	504,40

O milho segunda safra foi cultivado no sistema de semeadura direta (SSD) e sistema de manejo convencional (SMC). O SMC consistiu do preparo do solo antes da instalação da cultura, realizado anualmente sempre com o uso de grade intermediária com 18 discos de 28 polegadas para o preparo primário e de grade niveladora com 28 discos de 20 polegadas para o preparo secundário. A semeadura do milho foi de forma mecanizada utilizando uma semeadora/adubadora e ocorreu no dia 20 de fevereiro de 2014. O híbrido utilizado foi o CD 3715PRO de ciclo tardio. A adubação de manutenção foi realizada com uma aplicação na linha de semeadura de 20 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 42 kg ha⁻¹ K₂O. Na adubação de cobertura foram aplicados 25 kg ha⁻¹ de Nitrogênio e 60 kg ha⁻¹ K₂O no dia 07 de março de 2014, onde a cultura encontrava-se no estágio fenológico V2 (plântulas com 2 folhas totalmente desenvolvidas) sendo realizada a lanço, manualmente, de forma homogênea e sem incorporação.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições distribuídas em parcelas de 5 x 5 m, sendo a parcela útil constituída de 3 linhas centrais de 3 metros de comprimento. Consideraram-se como parcelas os dois sistemas de manejo do solo (SSD e SMC) e como subparcelas os sistemas de condicionamento do solo, com os seguintes tratamentos: Controle, Calcário (3,563 Mg ha⁻¹), Calcário metade da dose recomendada + Gesso (1,781 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), Gesso (2 Mg ha⁻¹), Calcário dose recomendada + Gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso (7,126 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹).

As amostras foram coletadas aos 30 meses após a aplicação do calcário e do gesso, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade, na área útil de cada subparcela. Cada amostra foi composta por quatro amostras simples nas três camadas avaliadas, coletadas sempre na entrelinha da cultura do milho segunda safra.

A precipitação pluvial anual ocorrida desde a instalação do experimento em 2011 até a realização de cada uma das amostragens em 2014 foi de 1.544, 1.832, 1.746 e 1.660 mm, respectivamente.

Os dados foram avaliados pelo teste de Tukey para comparação de médias, com desdobramento das interações significativas, para tal ação utilizou-se para análise estatística o software Assistat (SILVA & AZEVEDO, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre sistemas de manejo do solo e os condicionadores químicos para as variáveis pH do solo (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), magnésio, acidez potencial (H + Al), teor de alumínio trocável e saturação por alumínio nas três profundidades estudadas (0,0- 0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) (Tabela 3). A ausência de efeito do gesso sobre a acidez do solo era esperada, pois o gesso não é considerado um corretivo da acidez do solo (PAVAN et al., 1984; VELOSO et al., 1992; MARIA et al., 1993). Os resultados obtidos nesse trabalho são contrário aos observados por Caires et al. (2002;2003), onde esses autores verificaram que o gesso após 32 meses proporcionou o aumento do pH em profundidade abaixo da camada considerada arável. O gesso sendo um sal neutro não consome prótons e não interfere diretamente na redução da acidez do solo, apesar de que em alguns casos ocasiona a neutralização de alumínio, isso constitui apenas uma troca de posições de acidez e alcalinidade, que é revertida com o passar do tempo (RAIJ, 2008).

No entanto, há vários estudos mostrando que a aplicação de gesso pode aumentar o pH nas camadas do subsolo (PAULETTI et al., 2014; CAIRES et al., 2003; CARVALHO; RAIJ, 1997), por causa do processo denominado “autocalagem”, que consiste na reação de troca de ligantes na superfície de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), com o sulfato (S-SO_4^{2-}) deslocando hidroxilas (OH^-) e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez do solo (REEVE & SUMNER, 1972), o que não aconteceu no presente trabalho. Cabe destacar que, no presente estudo, o solo apresentou baixa saturação por alumínio em todo o perfil (0,0- 0,30 m), conforme Tabela 4.

A ausência de resposta do pH, teor de magnésio, teor e saturação por alumínio ao efeito residual da calagem pode ser devido às condições químicas iniciais do solo (Tabela 1), em virtude de o solo em questão possuir baixo teor de alumínio (0,07 cmol_c dm⁻³), baixa saturação por alumínio (1,7%) e teor de magnésio adequado na camada 0,0-0,20 m. Também pode ser devido ao baixo residual do calcário utilizado no experimento, já que Caires, et al., (2003) verificou que a incorporação do calcário em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa no sistema plantio direto proporcionou aumento significativo do pH no subsolo (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) após 11 meses, resultado que permaneceu consistente até 35 meses após a sua aplicação.

Os resultados para saturação por alumínio e teor de alumínio trocável não foram pronunciados, uma vez que o solo antes da instalação do experimento apresentava baixa saturação por alumínio, baixo teor de alumínio trocável e alto teor de cálcio trocável no perfil de solo (0,0 – 0,4 m). Porém, após 30 meses da aplicação de calcário e gesso agrícola a saturação por alumínio encontrou-se próximo do nível crítico (10%) para a cultura do milho (SOUZA, LOBATO & REIN, 2001), sendo inferior a 14% no SSD e 10,50% no SMC e os teores de alumínio trocável (Al^{+3}), em cmol_c dm⁻³, não passaram de 0,31 no SSD e 0,25 no SMC no perfil do solo estudado

(0,0–0,30 m). Comparando-se esses teores de Al^{3+} trocável e saturação por alumínio com aqueles que o solo apresentava antes da instalação do experimento (Tabela 1), nota-se que houve aumento de ambos os atributos químicos, provavelmente devido a redução do teor de matéria orgânica e pH no solo. Também devido a capacidade de troca de cátions ser média ($7,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) no solo do presente estudo, segundo classificação de Ribeiro, Guimarães & Alvarez (1999), pode ser que o Ca^{2+} proveniente do gesso (2 Mg ha^{-1}) e calcário, não foi capaz de mudar a relação com o Al^{3+} a ponto de diminuir a saturação por alumínio.

Esse resultado corrobora com o trabalho de Zambrosi et al. (2007) que também não verificaram alterações nos teores de Al trocável ou não trocável do solo até a profundidade de 0,40 m aos 55 meses após aplicação de gesso agrícola.

Em trabalho de Pauletti et al., (2014) a gessagem não alterou os teores de alumínio (Al^{3+}) das camadas subsuperficiais aos 36 e 72 meses após a aplicação de gesso agrícola. No entanto, a gessagem diminuiu significativamente a saturação por alumínio a partir da camada de 0,40-0,60 m, redução que foi proporcional à dose de gesso aplicada. A redução da saturação por alumínio (Al) pode ser explicada pelo deslocamento do Ca^{+2} para o subsolo, de modo que esse cátion desloca o Al para a solução do solo, assim diminuindo sua saturação e seu efeito tóxico. Houve redução da saturação por Al, na camada de 0,40-0,60 m, de 87 % na condição inicial do solo, para valores pouco acima de 40 %, após 36 meses da aplicação do gesso. Essa redução foi mais acentuada após o período de 72 meses de avaliação, alcançando valores inferiores a 20 % (PAULETTI et al., 2014). Em um período de tempo bem menor após a incorporação de calcário e gesso (2010 a fevereiro de 2013), Bortolanza et al., (2014) verificaram que a calagem e a gessagem reduziram a saturação por alumínio nas camadas subsuperficiais em Cambissolo Húmico Alumínico típico sob sistema plantio direto.

A gessagem não influenciou nos teores de Al^{+3} trocável do solo após 7,5 anos nas profundidades estudadas (0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m). No mesmo estudo depois de 1,5 anos da reaplicação de 6 Mg ha^{-1} de gesso observou-se redução da saturação por Al^{3+} das camadas subsuperficiais do solo (0,20-0,40 m) (BLUM, 2008).

Tabela 03- Análise de variância para potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), fósforo (P), acidez potencial (H+Al), saturação por bases (V%), soma de bases (SB), alumínio, saturação por alumínio (M%), capacidade de troca catiônica (CTC) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{efetiva}), em função dos sistemas de manejo e condicionadores químicos nas camadas de 0,0-0,10 , 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

FV ¹	pH	Ca	K	Mg	P	H+Al	V%	SB	Al	M%	CTC	CTC _{efetiva}
Camada de 0,0-0,10 m												
SM	0,01 ^{ns}	1,20 [*]	0,05 ^{**}	0,001 ^{ns}	12,99 ^{ns}	0,021 ^{ns}	36,5 ^{ns}	0,81 [*]	0,00003 ^{ns}	0,254 ^{ns}	2,86 ^{ns}	0,83 ^{ns}
SC	0,07 ^{ns}	0,30 [*]	0,006 ^{**}	0,013 [*]	267,99 ^{**}	0,101 ^{ns}	183,5 ^{ns}	0,48 [*]	0,01 ^{ns}	0,288 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,63 ^{**}
SMxSC	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,003 [*]	0,003 ^{ns}	430,82 ^{**}	0,290 ^{ns}	128,9 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,136 ^{ns}	5,68 [*]	0,03 ^{ns}
ResSM	0,01	0,05	0,0006	0,001	13,73	0,289	137,66	0,04	0,009	0,163	5,85	0,09
ResSC	0,06	0,10	0,0011	0,004	8,07	0,124	84,85	0,13	0,011	0,373	2,05	0,14
CVSM	2,25	12,72	11,41	8,79	26,15	23,96	34,57	8,18	19,98	13,87	31,57	11,30
CVSC	5,73	17,18	15,70	17,69	20,05	15,72	27,14	14,7	22,24	20,94	18,70	14,19
Camada de 0,10-0,20 m												
SM	0,09 ^{ns}	0,57 [*]	4666,4 [*]	0,0002 ^{ns}	62,54 [*]	0,004 ^{ns}	82,22 ^{ns}	0,84 [*]	0,03 ^{ns}	2,888 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,51 ^{ns}
SC	0,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}	299,4 ^{ns}	0,003 ^{ns}	60,80 ^{**}	0,027 ^{ns}	31,24 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,263 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,18 ^{ns}
SMxSC	0,02 ^{ns}	0,47 ^{**}	242,7 ^{ns}	0,003 ^{ns}	75,26 ^{**}	0,104 ^{ns}	62,33 ^{ns}	0,55 ^{**}	0,009 ^{ns}	0,541 ^{ns}	3,14 ^{ns}	0,55 ^{**}
ResSM	0,01	0,02	266,96	0,001	2,11	0,146	76,05	0,04	0,022	0,862	2,72	0,07
ResSC	0,06	0,07	136,36	0,003	2,84	0,142	66,27	0,09	0,012	0,585	2,81	0,08
CVSM	2,49	10,62	25,46	8,56	17,13	16,97	29,20	10,03	28,89	22,37	22,60	11,57
CVSC	5,43	17,58	18,20	14,46	19,87	16,72	27,26	14,86	21,88	22,56	23,00	12,30
Camada de 0,20-0,30 m												
SM	0,02 ^{ns}	0,57 [*]	0,007 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,148 ^{ns}	0,0 ^{ns}	83,65 ^{ns}	0,77 [*]	0,012 ^{ns}	2,169 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,53 ^{ns}
SC	0,09 ^{ns}	0,22 ^{**}	0,008 ^{**}	0,0002 ^{**}	1,37 ^{**}	3,23 ^{ns}	142,30 ^{ns}	0,27 [*]	0,005 ^{ns}	0,211 ^{ns}	2,71 ^{ns}	0,33 ^{**}
SMxSC	0,04 ^{ns}	0,23 ^{**}	0,001 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,15 ^{ns}	2,23 ^{ns}	46,53 ^{ns}	0,36 ^{**}	0,015 ^{ns}	0,861 ^{ns}	3,33 ^{ns}	0,41 ^{**}
ResSM	0,03	0,03	0,002	0,010	0,18	5,01	95,82	0,07	0,018	0,877	4,04	0,06
ResSC	0,04	0,05	0,0006	0,004	0,12	3,73	71,88	0,07	0,012	0,652	3,90	0,08
CVSM	4,26	15,36	32,72	27,50	20,18	43,68	35,33	14,62	28,13	27,50	28,97	12,61
CVSC	4,50	18,39	18,58	19,07	16,83	37,70	30,60	15,05	23,31	23,70	28,49	14,01

\1 Fonte de Variação = **SM**: sistema de manejo do solo; **SC**: sistema de condicionamento do solo; **SMxSC**: Interação entre sistema de manejo x sistema de condicionamento do solo; **ResSM**: resíduo sistema de manejo do solo; **ResSC**: resíduo sistema de condicionamento químico do solo; **CVSM**: coeficiente de variação de sistema de manejo do solo (%) e **CVSC**: coeficiente de variação de sistema de condicionamento do solo (%).

ns, *, **: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F.

Os dados de P na camada de 0,20-0,30 foram transformados utilizando $\sqrt{x}$; Os dados de Al e M% nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 foram transformados utilizando $\sqrt{x}$. Os dados de H+Al nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20, foram transformados utilizando $\sqrt{x}$.

Houve diferença significativa do teor de cálcio entre os dois sistemas de manejo e entre os condicionadores químicos de solo estudados na camada de 0,0-0,10 m (Tabela 4). Verificou-se maior teor de cálcio (Ca^{+2}) no sistema de semeadura direta em relação ao plantio convencional, evidenciando a baixa mobilidade do Ca^{+2} no perfil do solo em razão da sua retenção nas cargas negativas das argilas e da matéria orgânica (VITTI et al., 2006). Souza et al., (2012) verificou que o plantio direto acumulou maior teor de Ca^{+2} nas profundidades 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, após 55 meses da aplicação de gesso agrícola. O tratamento calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) no SSD proporcionou maior teor de cálcio no solo na camada de 0,0-0,10 m (Tabela 4). Diversos trabalhos mencionam incrementos nos teores de cálcio trocável do solo sob influência da aplicação conjunta de calcário e gesso agrícola (PAULETTI et al., 2014), COSTA, 2011; SORATTO & CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2004). Contudo, grande parte desses trabalhos não explicou o efeito da interação entre a calagem e a gessagem nos teores de cálcio trocável no solo. Neste trabalho, foi exequível observar o aumento do teor de cálcio na camada superficial do solo devido à aplicação combinada de calcário e gesso agrícola no SSD. Fato que pode ser explicado pelo aumento da CTC efetiva e diminuição da acidez potencial (H+Al) provocado pelo tratamento calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) na camada superficial, o que pode retardar a mobilização do Ca^{2+} em profundidade. Além disso, os dois produtos são fontes de cálcio.

O sistema de manejo convencional proporcionou maior teor de K em relação ao sistema de semeadura direta na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 4). Tal fato pode ser explicado devido ao maior teor de K no SMC (97,75 mg dm⁻³) em relação ao SSD (70,38 mg dm⁻³) na camada de 0,0-0,10 m, pois de acordo Werle, Garcia & Rosolem (2008) a intensidade de lixiviação do K é proporcional ao teor de K disponível no solo.

Serafim et al. (2012) verificaram redução do teor de K⁺ no solo com a aplicação de gesso agrícola. Segundo esses autores, o gesso, um composto que contém Ca²⁺, pode deslocar o K⁺ de seus sítios na argila do solo e este ser lixiviado pela água de irrigação ou de precipitação pluvial. Porém, no presente trabalho a gessagem não provocou a lixiviação de K na camada de 0,10-0,20 m no SMC, uma vez que nesta camada esse sistema de manejo de solo apresentou maior teor de Ca²⁺ e K⁺.

Tabela 4. Comparação das médias de pH (CaCl₂), Cálcio (Ca), Alumínio (Al), Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTC_{efetiva}), Fósforo (P), Acidez Potencial (H+Al), Potássio (K), Saturação por alumínio (M), Magnésio (Mg), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Saturação por Bases (V) em função do sistema de manejo do solo e camada avaliada. Chapadão do Sul – MS – 2014.

Profundidade (m)	SMC ^x	SSD ^y	CV (%) ^z
pH (CaCl₂)			
0,00-0,10	4,59a	4,55a	2,25
0,10-0,20	4,56a	4,48a	2,49
0,20-0,30	4,52a	4,48a	4,26
Ca (cmol_c dm⁻³)			
0,0-0,10	1,71b	2,02a	12,72
Al (cmol_c dm⁻³)			
0,00-0,10	0,20a	0,24a	13,87
0,10-0,20	0,25a	0,31a	22,37
0,20-0,30	0,22a	0,26a	27,50
CTC_{efetiva} (cmol_c dm⁻³)			
0,00-0,10	2,59a	2,85a	11,30
P (mg dm⁻³)			
0,20-0,30	4,93a	4,56a	20,18
H+Al (cmol_c dm⁻³)			
0,00-0,10	5,06a	5,29a	23,96
0,10-0,20	5,25a	5,15a	16,97
0,20-0,30	5,10a	5,14a	43,68
K (mg dm⁻³)			
0,10-0,20	74,03a	54,31b	25,46
0,20-0,30	59,61a	50,14a	32,72
M (%)			
0,00-0,10	9,15a	8,52a	13,87
0,10-0,20	10,24a	13,99a	22,37
0,20-0,30	10,50a	13,98a	27,50
Mg (cmol_c dm⁻³)			
0,00-0,10	0,38a	0,39a	8,79
0,10-0,20	0,38a	0,39a	8,56
0,20-0,30	0,37a	0,36a	27,50
SB (cmol_c dm⁻³)			
0,00-0,10	2,35a	2,61a	8,18
CTC (cmol_c dm⁻³)			
0,10-0,20	7,48a	7,11a	22,60
0,20-0,30	7,04a	6,82a	28,97
V (%)			
0,00-0,10	33,06a	34,80a	34,57
0,10-0,20	31,17a	28,55a	10,03
0,20-0,30	29,02a	26,38a	14,62

Médias seguidas de letras iguais minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%: e* = 5%.

SMC^x: Sistema de Manejo Convencional, SSD^y: Sistema de Semeadura Direta, C.V^z: Coeficiente de Variação (%).

Houve interação significativa entre os fatores sistemas de manejo e condicionadores químicos, para a variável fósforo (p<0,01), potássio (p<0,05) e capacidade de troca catiônica (p<0,05) na camada de 0,0-0,10 m, fósforo (p<0,01), cálcio (p<0,01), soma de bases (p<0,01) e capacidade de troca catiônica efetiva

($p < 0,01$) na camada de 0,10-0,20 m, cálcio ($p < 0,01$), soma de bases ($p < 0,01$) e capacidade de troca catiônica efetiva ($p < 0,01$) na camada de 0,20-0,30 m (Tabela 5).

O tratamento calcário dobro da dose recomendada + Gesso ($7,126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Gesso agrícola (2 Mg ha^{-1}) proporcionaram maior teor de Ca^{2+} no solo no SMC e SSD, respectivamente, na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5). Já na camada de 0,20-0,30 m, calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e gesso agrícola (2 Mg ha^{-1}) proporcionaram maior teor de cálcio no solo no SMC e SSD, respectivamente, conforme (Tabela 5). O gesso agrícola possui 17% de Ca em sua composição química e fornece $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio (equivalente a $200 \text{ kg de Ca}^{2+} \text{ ha}^{-1}$) para cada tonelada aplicada no solo (RAIJ, 2008), justificando os acréscimos nos teores de Ca^{2+} no solo, sendo este um importante efeito na melhoria da fertilidade no solo em subsuperfície, com reflexos positivos no enraizamento das culturas (SOUZA & RITCHEY, 1986).

A mobilidade do Ca proporcionada pelo uso do gesso é devida ao efeito do SO_4^{2-} em anular a carga do Ca^{2+} , o que leva à formação de um par iônico (CaSO_4^0) entre esses dois íons, evitando assim que o Ca^{2+} se ligue às cargas do solo, facilitando sua descida às camadas mais profundas (NAVA et al., 2012). 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. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa (2011), que observou aumento linear nos teores de Ca^{2+} do solo pela aplicação de gesso, sendo os aumentos superiores quando houve combinação de gesso e calcário.

Os efeitos em longo prazo da aplicação conjunta de calcário e gesso agrícola sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, de textura areia franca, em rotação de culturas no sistema plantio direto foram avaliados por Pauletti et al., (2014). O aumento do teor de cálcio (Ca^{2+}) no solo, tanto aos 36 quanto aos 72 meses após a gessagem, foi proporcional às doses de gesso agrícola aplicada em todas as profundidades (0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 e 0,80-1,0 m), diferindo principalmente nas maiores profundidades, fato que ratifica a mobilidade desse elemento proporcionada por esse insumo.

O aumento de cálcio (Ca^{2+}) trocável em todo o perfil de um Latossolo Vermelho distrófico textura média sob sistema plantio direto foi verificado por Caires et al. (2001). Os autores verificaram que após 64 meses da aplicação superficial de 12 Mg ha^{-1} de gesso agrícola, 80% do Ca trocável tinha sido absorvido pelas plantas e/ou lixiviado para profundidades maiores que 0,60 m. Após 16 anos da adição de 35 Mg ha^{-1} de gesso incorporado a 0,15 m de profundidade, Toma et al. (1999) observaram o aumento do teor de Ca^{2+} trocável até a profundidade de 1,20 m em Ultissol argiloso caulínico no estado da Geórgia (EUA).

Após 32 meses da aplicação de 9 Mg ha^{-1} de gesso agrícola na superfície de um Latossolo Vermelho textura argilosa sob SPD, foi verificado aumento no teor de cálcio trocável em todo o perfil de solo estudado (0,0-0,6 m) (CAIRES et al., 2003). Nesse mesmo solo, Caires et al. (2006) obtiveram aumento no teor de cálcio trocável no perfil (0-0,60 m) após 55 meses da aplicação de 9 Mg ha^{-1} de gesso em superfície.

Tabela 5. Desdobramento da interação sistema de manejo x condicionadores químicos do solo obtido para a avaliação de teor de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{efetiva}) de acordo a camada de solo. Chapadão do Sul – MS – 2014*.

Sistema de Cultivo	1 ¹	2 ²	Sistemas de Condicionamento do Solo				6 ⁶	C.V ⁷
			3 ³	4 ⁴	5 ⁵			
			P (mg dm⁻³)					
			0,00 - 0,10 m					
SMC ^x	12,63 aBC	29,87 aA	16,13 aB	14,65 bB	6,63 bC	8,22 aC		
SSD ^y	8,26 aC	5,79 bC	9,78 bC	33,40 aA	16,24 aB	8,42 aC	20,05	
			P (mg dm⁻³)					
			0,10 - 0,20 m					
SMC ^x	4,36 bB	10,29 aA	10,31 aA	7,21 bAB	5,67 bB	6,24 aB		
SSD ^y	6,78 aCD	8,66 aBC	4,85 bD	19,62 aA	10,81 aB	7,06 aCD	19,87	
			K (mg dm⁻³)					
			0,00- 0,10 m					
SMC ^x	86,02 aB	89,93 aB	93,84 aB	101,66 aAB	78,2 aB	125,12 aA		
SSD ^y	54,74 bB	82,11 aA	74,29 bAB	78,20 bAB	62,56 bAB	70,38 bAB	15,70	
			Ca (cmol_c dm⁻³)					
			0,10- 0,20 m					
SMC ^x	1,37 aB	1,59 aAB	1,78 aAB	1,40 aB	2,08 aA	1,68 aAB		
SSD ^y	1,44 aAB	1,70 aA	0,97 bB	1,63 aA	1,23 bAB	1,62 aA	17,58	
			Ca (cmol_c dm⁻³)					
			0,20- 0,30 m					
SMC	1,33 aA	1,20 bA	1,28 aA	1,64 aA	1,41 aA	1,57 aA		
SSD	0,74 bC	1,63 aA	1,36 aAB	1,41 aAB	1,01 bBC	0,96 bBC	18,39	
			SB (cmol_c dm⁻³)					
			0,10- 0,20 m					
SMC	1,90 aB	2,11 aAB	2,41 aAB	1,96 aB	2,68 aA	2,32 aAB		
SSD	1,93 aAB	2,24 aA	1,50 bB	2,21 aA	1,74 bAB	2,17 aAB	14,86	
			SB (cmol_c dm⁻³)					
			0,20- 0,30 m					
SMC	1,82 aA	1,70 bA	1,82 aA	2,15 aA	1,94 aA	2,17 aA		
SSD	1,20 bC	2,17 aA	1,78 aABC	1,94 aAB	1,49 bBC	1,49 bBC	15,05	
			CTC (cmol_c dm⁻³)					
			0,00- 0,10 m					
SMC	7,26 aA	6,27 bA	8,0 aA	7,80 aA	7,13 aA	7,96 aA		
SSD	8,46 aA	9,23 aA	6,27 aA	7,88 aA	8,39 aA	7,19 aA	18,70	
			CTC_{efetiva} (cmol_c dm⁻³)					
			0,10- 0,20 m					
SMC	2,12 aB	2,36 aAB	2,74 aAB	2,18 aB	2,90 aA	2,59 aAB		
SSD	2,17 aAB	2,58 aA	1,81 bB	2,52 aA	2,14 bAB	2,43 aAB	12,30	
			CTC_{efetiva} (cmol_c dm⁻³)					
			0,20- 0,30 m					
SMC	2,02 aA	1,92 bA	2,11 aA	2,37 aA	2,19 aA	2,35 aA		
SSD	1,44 bC	2,51 aA	2,00 aABC	2,26 aAB	1,73 bBC	1,73 bBC	14,01	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey: **= 1% e *= 5%.

SMC^x: Sistema de Manejo Convencional, **SSD^y:** Sistema de Semeadura Direta, **1¹:** Calcário (3,563 Mg ha⁻¹), **2²:** Gesso (2 Mg ha⁻¹), **3³:** Calcário dose recomendada + Gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), **4⁴:** Calcário metade da dose recomendada + Gesso (1,781 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), **5⁵:** Calcário dobro da dose recomendada + Gesso (7,126 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹) e **6⁶:** Controle, **C.V⁷:** Coeficiente de Variação (%).

Após 24 meses da aplicação de 12 Mg ha⁻¹ de gesso em um Latossolo Vermelho textura média, 40% do Ca²⁺ trocável foi lixiviado para profundidades maiores que 0,80 m e 75% do Ca²⁺ remanescente foi encontrado nas camadas do subsolo (0,20 – 0,80 m) (CAIRES et al., 2001).

Ressalta-se que mesmo tendo sido observada lixiviação do cálcio adicionado pelo gesso e calcário, ainda nota-se, após 30 meses, efeito do gesso e calcário na melhoria dos teores de cálcio no perfil do solo, mostrando longo efeito residual.

Após 30 meses da adição do gesso e calcário verifica-se que não ocorreu alteração significativa da soma de bases até 0,10 m de profundidade (Tabela 4). Por outro lado, foram observadas interações significativas (p<0,01), entre os fatores sistemas de manejo, condicionadores químicos do solo e soma de bases (cmol_c dm⁻³), nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m (Tabela 5). Na camada de 0,10-0,20

m o condicionador químico de solo calcário dobro da dose recomendada + gesso ($7,126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) no SMC foi o que apresentou maior valor de SB. Já no SSD os tratamentos gesso (2 Mg ha^{-1}) e calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram os que proporcionaram maiores incrementos na SB. Já na camada de 0,20-0,30 m, o tratamento calcário metade da dose recomendada + gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e o controle no SMC apresentaram maior valor de SB. Enquanto no SSD a aplicação de gesso (2 Mg ha^{-1}) e calcário metade da dose recomendada + gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foram os que proporcionaram maiores valores de SB. A explicação para o aumento na soma de bases, motivado pelo uso do calcário e gesso, ocorre por causa do aumento da capacidade de troca catiônica efetiva, devido ao aumento da concentração de cálcio no solo (MORELLI et al., 1992). Costa et al. (2007) analisando o efeito de sistemas de manejos e gessagem não observaram diferença entre os manejos para soma de bases.

A capacidade de troca de cátions (T) foi significativamente ($p < 0,01$) influenciada pelas doses de calcário e de gesso agrícola utilizadas, na camada de 0,0-0,10 m (Tabela 5). Nesta tabela pode-se observar que, calcário dose recomendada + gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) aumentou o valor de T no SMC e a aplicação de 2 Mg ha^{-1} de gesso agrícola aumentou o valor de T no SSD. A capacidade de troca de cátions (CTC) no sistema plantio direto na camada de 0,10-0,15 m diminuiu aos 55 meses após a aplicação de gesso agrícola. O autor justificou esse fato devido à redução no teor de matéria orgânica no SPD pela aplicação de gesso agrícola, uma vez que, a CTC é dependente do teor de matéria orgânica (SOUZA et al., 2012).

As variações dos teores de fósforo (P) em função dos sistemas de manejo e condicionadores químicos do solo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m são apresentadas na Tabela (5). Os tratamentos gesso (2 Mg ha^{-1}) e calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) proporcionaram maior teor de fósforo no solo no SMC e SSD, tanto na camada de 0,0-0,10 m quanto na camada de 0,10-0,20 m, respectivamente, de acordo Tabela (5). Em experimento realizado por Caires et al. (2003) o uso do gesso proporcionou aumento linear nos teores de P no solo na camada de 0,0-0,05 m, no período de 3 anos de cultivo, e os autores atribuíram esse aumento ao P contido na composição do gesso agrícola, o qual apresenta em sua composição química, cerca de 0,7% de P_2O_5 (DIAS, 1992). Estudo feito em sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa mostra que a aplicação de gesso a partir da dose de $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ proporciona aumento no teor de fósforo disponível na profundidade de 0,0-0,10 m, a partir de $2,33 \text{ Mg ha}^{-1}$ na profundidade de 0,10-0,20 m e a partir de $3,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ na profundidade de 0,20-0,40 m (RAMPIM, LANA & FRANDOLOSO, 2013).

O ânion que pode deslocar o fósforo (P) da fase sólida do solo com maior eficiência é o silicato e em segundo lugar, vem o sulfato (SO_4^{-2}). O aumento da concentração de sulfato no solo com a gessagem proporciona maior dessorção do fósforo, ou seja, aumenta a troca de sulfato (SO_4^{-2}) por fosfato (H_2PO_4^-) na solução do solo, promovendo o acréscimo no teor de fósforo citado anteriormente (NOVAIS et al., 2007).

Teores de fósforo mais baixos na camada de 0,10-0,20 m em relação a camada 0,0-0,10 m pode ser explicado pelo fato de que o fósforo apresenta baixa percolação no perfil do solo, resultando em menor acréscimo do teor de P por percolação no perfil do solo explorado pelas raízes do milho (Tabela 5).

Na camada de 0,0 – 0,10 m o condicionador químico gesso agrícola ($2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) proporcionou maior teor de fósforo no SMC em relação ao SSD. Como o SSD apresentou maior teor de cálcio, em relação ao SMC, na camada de 0,0 – 0,10 m, o menor teor de fósforo no SSD pode ser atribuído ao composto formado entre o cálcio e o fósforo (fosfatos bi e tricálcicos de baixa solubilidade), devido à dissociação entre o cálcio e o enxofre do gesso agrícola (CaSO_4) na presença de água, liberando íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} . O cálcio reage com o fósforo provocando menor solubilidade e pode ainda formar fosfato de cálcio e causar precipitação do fosfato adicionado ao solo (NOVAIS & SMYTH, 1999).

O tratamento calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) proporcionou maior teor de fósforo no SSD em relação ao SMC tanto na camada de 0,0 – 0,10 m quanto na camada de 0,10 – 0,20 m (Tabela 5). Ciotta et al. (2002) também observaram maior concentração de P no plantio direto, em comparação ao plantio convencional, e que a concentração de P no solo sob plantio direto foi, aproximadamente, quatro vezes maior do que no solo sob plantio convencional. Os autores atribuíram isto ao fato de a não incorporação do fertilizante ao solo no sistema plantio direto diminuir o contato solo-fertilizante e, conseqüentemente, a intensidade das reações de adsorção do fósforo.

O efeito do plantio direto e plantio convencional com ou sem gesso no teor de fósforo (P) num Latossolo Vermelho distroférrico foi avaliado por Costa et al. (2007), evidenciaram não haver efeito do residual de gesso.

No tratamento calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), o SMC apresentou teor mais elevado de K^+ , quando comparado ao SSD, na camada de 0,0-0,10 m (Tabela 5), pois nesse sistema de condicionamento químico do solo pode ter ocorrido a descida desse nutriente juntamente com o sulfato para camadas mais profundas do solo devido ao excesso de Ca^{2+} no SSD, deslocando o K^+ adsorvido pelos coloides para a solução do solo (MEURER et al, 2006). Isto ocorre em função do processo de seletividade entre os sítios de adsorção e os íons do solo, em que aqueles íons com mais alta carga são preferidos e que o aumento na concentração de um íon pode provocar o deslocamento de íons adsorvidos (MEURER et al., 2006).

O desbalanço entre cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) no solo como consequência das aplicações elevadas de gesso deve-se às relações de tamanho (raio iônico de Pauling: 0,99, 0,65 e 1,33 Å, respectivamente, para Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e à carga de cada espécie (2,02; 3,07; e 0,75, respectivamente, para Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) (MAHAN, 2003). Quanto maior a densidade de carga (relação carga/raio), mais intensa será a ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas como OH^- , SO_4^{2-} . Portanto, a facilidade de formação de sulfatos percoláveis no solo aumenta na seguinte ordem: $\text{MgSO}_4^0 > \text{CaSO}_4^0 > \text{K}_2\text{SO}_4^0$, que pode alterar em razão de incrementos na adição de gesso agrícola ou de fatores decorrentes da heterogeneidade do sistema solo. Além disso, o Ca^{2+} apresenta maior energia de adsorção aos coloides do solo, quando comparado com o Mg^{2+} e K^+ (RAMOS et al., 2013). Assim sendo, o uso excessivo do gesso, não levando em consideração o balanço de cargas dos coloides do solo, o equilíbrio iônico e a capacidade de troca de cátions, pode promover expressiva lixiviação desses nutrientes ao longo do perfil do solo, podendo ir para além da camada onde se encontra o sistema radicular das plantas (CAIRES et al., 2003).

O deslocamento do potássio para camadas abaixo de 0,10 m no SSD no presente trabalho, não provocou incrementos nas camadas inferiores avaliadas (0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m) neste sistema de manejo. Essas ausências de

incrementos nas camadas inferiores permitem afirmar que o K^+ se deslocou além da camada de 0,30 m no SSD. A descida do K^+ no perfil do solo é gradativa e ocorre, mesmo sem efeito do gesso, porque é um elemento extremamente móvel (ERNANI et al., 2007) devido a sua baixa densidade de carga (RAMOS et al., 2013), que pode ocorrer mesmo em solo argiloso de elevada capacidade de troca catiônica, quando as concentrações no solo são altas (WERLE, GARCIA & ROSOLEM, 2008). Provavelmente esse pequeno deslocamento encontrado neste trabalho, tenha sido mais em função do aumento dos teores de Ca^{2+} nas camadas superficiais que passaram a ocupar as cargas negativas do solo, deslocando o K^+ , do que a ação do par iônico $K_2SO_4^0$. Dos elementos avaliados, o K^+ é o elemento mais difícil de formação do par iônico com o íon SO_4^{2-} na solução do solo devido a menor densidade de carga, conforme explicado anteriormente, motivo também pelo qual sua descida no perfil foi menos pronunciada pela aplicação de gesso. Mesmo com a lixiviação ocasionada pela aplicação de gesso, os teores de potássio trocável se mantiveram em níveis superiores a 50 mg dm^{-3} na camada de 0-0,10 m, teor de potássio considerado adequado para os solos de cerrado (VILELA E SOUZA & SILVA, 2004), comprovando que as perdas de K^+ trocável (SERAFIM, 2012, RAMPIM et al., 2011, CAIRES et al., 2002, 2004), e da solução do solo (ZAMBROSI et al., 2007b) por lixiviação devidas ao uso de gesso são muito pequenas em sistema de semeadura direta. O resultado para K neste trabalho discordou do resultado de Maschietto (2009), pois este verificou que a gessagem reduziu os teores de K^+ trocáveis no solo na camada de 0,0-0,10 m, após 9, 18 e 30 meses da aplicação de gesso agrícola em um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície no sistema plantio direto.

No SMC o controle apresentou maior teor de potássio em relação aos demais tratamentos (Tabela 5), possivelmente em função da adubação potássica, mineralização de restos culturais e da elevada capacidade de ciclagem das culturas como milho (SOUZA et al., 2009).

CONCLUSÕES

Não houve efeito residual da calagem e gessagem no pH, acidez potencial, teor de magnésio e alumínio trocável e saturação por alumínio.

O sistema de semeadura direta proporcionou maior teor de cálcio em relação ao manejo convencional na camada superficial.

O sistema de manejo convencional proporcionou maior teor de potássio em relação ao sistema de semeadura direta na camada de 0,10-0,20 m.

O sistema de manejo convencional com efeito residual da calagem e gessagem aumentou o teor de cálcio, fósforo, Soma de Bases e CTC.

A semeadura direta com efeito de gesso aumentou o teor de cálcio, fósforo, soma de bases e capacidade de troca catiônica.

BIBLIOGRAFIA

ALCARDE, J.C. 2005. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas, Boletim Técnico Nº6, São Paulo, ANDA, 24 p.

BLUM, S. C. 2008. Atributos químicos de um Latossolo e comportamento do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela aplicação e reaplicação de gesso agrícola. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. Disponível em:

- 598 http://bicen-tede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=153. Acesso em: 12 de
599 Janeiro de 2015.
- 600 **BLUM, S.C. CAIRES, E.F. & ALLEONI, L.R.F.** 2013. Lime and phosphogypsum
601 application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. Journal of
602 Soil Science and Plant Nutrition, 13: 279-300. Disponível em:
603 <http://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v13n2/aop2413.pdf>. Acesso em 03 de Agosto de 2014.
- 604 **BLUM, J., CAIRES, E. F., AYUB, R. A., FONSECA, A., SOZIM, M. & FAUATE, M.**
605 2011. Soil chemical attributes and grape yield as affected by gypsum application in
606 Southern Brazil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. v.42, p.1434-
607 1443. Disponível em:
608 [http://www.nutricaoodeplantas.com.br/br/arquivos/publicacoes/Blum_et%20al_2011.p](http://www.nutricaoodeplantas.com.br/br/arquivos/publicacoes/Blum_et%20al_2011.pdf)
609 [df](http://www.nutricaoodeplantas.com.br/br/arquivos/publicacoes/Blum_et%20al_2011.pdf). Acesso em: 20 de Novembro de 2015.
- 610 **BORTOLANZA, D.R.; KLEIN, V.A.; KLEIN, C. & LEVVINSKI, F.** 2014. Saturação
611 por alumínio em solo sob aplicação superficial e incorporada de calcário e gesso. X
612 Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, Fatos e Mitos em Ciência do Solo
613 Pelotas, RS. Disponível em: [http://www.sbcs-nrs.org.br/rsbcs/docs/trab-7-2452-](http://www.sbcs-nrs.org.br/rsbcs/docs/trab-7-2452-359.pdf)
614 [359.pdf](http://www.sbcs-nrs.org.br/rsbcs/docs/trab-7-2452-359.pdf). Acesso em: 20 de Janeiro de 2015.
- 615 **CAIRES, E. F. BLUM, J. BARTH, G. GARBUIO, F. J. & KUSMAN, M. T.** 2003.
616 Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na
617 implantação do sistema de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:
618 275-286.
619 Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16229.pdf>. Acesso em 08 de
620 outubro de 2014
- 621 **CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A. & MORGANO, M.**
622 **A.** 2006. Soybean yield and quality as function of lime and gypsum applications.
623 Scientia Agricola, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379. Disponível
624 em:[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390162006000400008&script=sci_artte](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390162006000400008&script=sci_arttext)
625 [xt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390162006000400008&script=sci_arttext). Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.
- 626 **CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BARTH, G. & GARBUIO, F. J.** 2002. Lime and
627 gypsum application on the wheat crop. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 59, n. 2, p.
628 357-364. Disponível em:
629 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010390162002000200023.
630 Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.
- 631 **CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J.** 2001. Crescimento
632 radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao
633 calcário e gesso na superfície. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.1029-
634 1040.
635 Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n4/25.pdf>. Aceso em: 01 de fevereiro
636 de 2015.
- 637 **CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F. & CAMBRI, M.A.** 2006. Calagem
638 superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em
639 sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:87-98. Disponível
640 em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n1/a10v30n1>. Acesso em: 12 de Janeiro de
641 2015.
- 642 **CAIRES, E.F. GARBUIO, F.J. CHURKA, S. BARTH, G. & CORRÊA, J.C.L.** 2008.
643 Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and
644 wheat root growth and yield. European Journal of Agronomy, 28: 57-64. Disponível
645 em <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.002>. Acesso em 28 de julho de 2014.

- CAIRES, E. F., JORIS, H. A. W. & CHURKA, S.** 2011. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use and Management*, v. 27, p. 45-53. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x/epdf>. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.
- CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & ADILHA, J.M.** 2004. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:125-136. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a13v28n1>. Acesso em: 05 de Janeiro de 2015.
- CARVALHO, M. C. S. & RAIJ, B. V.** 1997. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. *Plant and Soil*, The Hague, v.192, n. 1, p. 37-48, 1997. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1004285113189>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2015.
- CASTRO, M.A. CUNHA, F.F. LIMA, S.F. NETO, V.B.P. LEITE, A.P. & MAGALHÃES, F.F.** 2012. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 3: 498-512. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/viewFile/17844/11234>. Acesso em 28 de novembro de 2014.
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C.** 2002. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 1055 - 1064. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n4/23.pdf>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2014.
- COSTA, C.H.M.** 2011. Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero. 2011, 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Disponível em: <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0678.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.
- COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F. & ROSA, C. B. J.** 2007. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 29, n. 29, p. 701-708. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180786212007000500017&script=sci_arttext. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.
- DIAS, L.E.** 1992. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 6p. (Comunicado Técnico 7).
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 2009. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 212 pp.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 pp.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C. & ALMEIDA, J. A.** 2007. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 393-402. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832007000200022&script=sci_arttext. Acesso em: 15 de Dezembro de 2014.

- 696 **MAHAN, B.M.** 2003. Química: Um curso universitário. 6. Ed. São Paulo, Edgard
 697 Blücher, 581p.
- 698 **MARIA, I.C.; ROSSETTO, E.J.; AMBROSANO, E.J. & CASTRO, O.M.** 1993. Efeito
 699 da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de
 700 solo. *Sci. Agric.*, 50:87-98.
 701 Disponível em: www.revistas.usp.br/sa/article/download/20094/22211. Acesso em:
 702 10 de Janeiro de 2015.
- 703 **MASCHIETTO, E.H.G.** 2009. Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo
 704 de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto. (2009). 56 p.
 705 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Acesso em: 22
 706 de dezembro de 2014. Disponível em:
 707 http://bicen-tede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=443.
- 708 **MEURER, E.J.; RHEINHEIMER, D. & BISSANI, C.A.** 2006. Fenômenos de sorção
 709 em solos. In: MEURER, E.J., ed. Fundamentos da química do solo. Porto Alegre,
 710 Evangraf, p.117-162.
- 711 **MORELLI, S.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C. & DEMATTÊ, J.L.I.** 1992.
 712 Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas
 713 de um Latossolo de textura média álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16,
 714 p.187-194.
- 715 **NAVA, G.; ERNANI, P.R.; SÁ, A.A. & PEREIRA, A.J.** 2012. Soil Composition and
 716 nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum. *Revista*
 717 *Brasileira de Ciência do Solo*, 36:215-222. Disponível em:
 718 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832012000100022.
 719 Acesso em: 05 de janeiro de 2014.
- 720 **NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.;**
 721 **CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L.** 2007. Fertilidade do solo. Viçosa, MG:
 722 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017 p.
- 723 **NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J.** 1999. Fósforo em solo e planta em condições
 724 tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 399p.
- 725 **PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G. & MOTTA, A.C.V.** 2014.
 726 Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio
 727 direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 495-505, Disponível em:
 728 http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832014000200014&script=sci_arttext.
 729 Acesso em: 01 de fevereiro de 2015.
- 730 **PAVAN, M.A.; BINGHAM, FT. & PRATT, P.F.** 1984. Redistribution of exchangeable
 731 calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a
 732 Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, 48:33-38. Disponível em:
 733 <https://www.soils.org/publications/sssai/abstracts/48/1/SS0480010033?access=0&view=pdf>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.
- 734 **PRADO, R.M.** 2003. Efeito residual do calcário sob diferentes modos de
 735 incorporação antes da instalação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de*
 736 *Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campinas Grande, v.7, n. 3, p.478-482. Acesso
 737 em: 10 de Dezembro de 2014. Disponível em:
 738 <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000300012>.
- 739 **PRADO, R.M. & ROQUE, C.G.** 2002. Uso alternativo da grade aradora superpesada
 740 na correção da acidez do solo em profundidade e na produção da aveia preta.
 741 *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p.275-281. Disponível em:
 742 Acesso em: 10 de Fevereiro de 2014.
 743 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180217643030>.

- 745 **RAIJ, B. V.** 2008. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agrônomo de
 746 Campinas, 233 p.
- 747 **RAMOS, B.Z.; TOLEDO, J.P.V.F.; LIMA, J.M.; SERAFIM, M.E.; BASTOS, A.R.R.;**
 748 **GUIMARÃES, P.T.G. & COSCIONE, A.R.** 2013. Doses de gesso em cafeeiro:
 749 influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e ph na solução de um Latossolo
 750 Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:1018-1026. Disponível
 751 em:
 752 http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832013000400019&script=sci_arttext.
 753 Acesso em: 10 de Dezembro de 2014.
- 754 **RAMPIM, L.; LANA, M.C. & FRANDOLOSO, J.F.** 2013. Fósforo e enxofre
 755 disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho
 756 submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. *Semina: Ciências Agrárias*,
 757 Londrina, v. 34, n. 4, p. 1623-1638, jul./ago. Disponível em:
 758 <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10748/pdf>. Acesso
 759 em: 15 de Janeiro de 2015.
- 760 **RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F. & FONTANIVA, S.** 2011. Atributos
 761 químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura
 762 direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:1687-1698. Disponível em:
 763 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832011000500023.
 764 Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.
- 765 **REEVE, N. G. & SUMNER, M. E.** 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal
 766 oxisols by leaching of surface-applied amendments. *Agrochimophysics*, Pretoria,
 767 v. 4, n. 1, p. 1-5.
- 768 **RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F.M.** 2000.
 769 Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo
 770 arenoso. *Ciência Rural*, 30: 263-268.
 771 Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33113560011>. Acesso em: 13
 772 de Janeiro de 2015.
- 773 **RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H.** 1999. (Ed.).
 774 Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a
 775 aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas
 776 Gerais, 359p.
- 777 **SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M. & PESSONI, P.T.** 2012.
 778 Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob
 779 doses de gesso. *Bragantia*, 71: 30-40. Disponível em:
 780 http://www.scielo.br/pdf/brag/v71n1/aop_801_12.pdf. Acesso em: 13 de Janeiro de
 781 2015.
- 782 **SILVA, F. de A.S. & AZEVEDO, C.A.V.** 2006. A new version of the assistat-
 783 statistical assistance software. In: World Congress on Computers in Agriculture, 4,
 784 Orlando. Anais... Orlando: American Society of Agricultural Engineers. p. 393-396.
- 785 **SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C.** 2008. Atributos químicos do solo
 786 decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto
 787 recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, p. 675-
 788 688. Disponível em:
 789 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832008000200022.
 790 Acesso em: 11 de Janeiro de 2015.
- 791 **SOUZA, C.H.E. et al.** 2009. Matéria orgânica e alterações de propriedades físicas e
 792 químicas de Solo sob sistemas de manejo no cerrado, Magistra, Cruz das Almas,
 793 BA, v.21, n.3, p.226-232, 2009.

- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E.** 2004. Cerrado: correção do solo e adubação, 2ª ed. Embrapa Cerrados, Brasília, Brasil.
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & REIN, T.A.** 2001. O aumento da produção no cerrado com uso de gesso agrícola. Disponível em: http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Gesso%20agr%C3%ADcol. Acesso em: 10 de fevereiro de 2015.
- SOUZA, D. M. G. & RITCHEY, K. D.** 1986. Uso do Gesso no solo de cerrado. In: Anais do I Seminário sobre o uso de fosfogesso na agricultura. Brasília, Embrapa - DDT, p.119-144.
- SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, Y.B.C.J. & ZEVIANI, W.M.** 2012. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76724/1/semina.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2014.
- TOMA, M.; SUMNER, M.E.; WEEKS, G. & SAIGUSA, M.** 1999. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. Soil Science Society of America Journal, v.39, p.891-895. Disponível em: <http://www.caes.uga.edu/commodities/fieldcrops/forages/events/SHC14/23%20Gypsum/Toma%20Alfalfa%20Paper001.pdf>. Acesso em: 08 de Janeiro de 2015.
- VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S. & VEIGAS, I.A.J.M.** 1992. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. Sci. Agric., 49:123-128. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010390161992000400016&script=sci_arttext. Acesso em: 07 de Janeiro de 2015.
- VILELA, I.; SOUSA, D.M.G. & SILVA, J. E.** 2004. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. CERRADO: correção do solo e adubação. 2ª. Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 169-183.
- VITTI, G.C.; LIMA, E. & CICARONE, F.** 2006. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 299-326.
- WERLE, R.; GARCIA, R. A. & ROSOLEM, C. A.** 2008. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, n.6, p.2297-2305, Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a09.pdf>. Acesso em: 03 de Janeiro de 2015.
- ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F. & CAIRES, E.F.** 2007b. 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.
- ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F. & CAIRES, E.F.** 2007. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema plantio direto. Bragantia, Campinas, v.66, n.3, p.487- 495. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000687052007000300016. Acesso em: 08 de Janeiro de 2015.

CAPÍTULO 2- ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MATÉRIA ORGÂNICA SOB DOIS MANEJOS E EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA

RESUMO

O uso do calcário e gesso agrícola e o manejo do solo podem influenciar seus atributos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do manejo, calcário e gesso agrícola sobre os atributos do solo e Matéria Orgânica no Solo após safra milho segundo cultivo. O experimento foi conduzido em Chapadão do Sul-MS, sendo disposto no delineamento de blocos casualizados com os fatores arranjos em parcelas subdivididas. As parcelas receberam os níveis dos fatores sistema de manejo convencional e direto e as subparcelas as aplicações de calcário e gesso agrícola (Controle, Calcário ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gesso (2 Mg ha^{-1}), Calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso ($7,126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), com quatro repetições. A densidade do solo e a resistência à penetração não foram influenciadas pelo sistema de cultivo e sistema de condicionamento do solo, após 03 anos de implantação do experimento. O sistema de manejo convencional com efeito residual da gessagem proporcionou maior valor de porosidade total, macroporosidade, microporosidade e matéria orgânica na camada de 0,10-0,20 m. O sistema de semeadura com efeito residual da aplicação de calcário dose recomendada mais gesso agrícola proporcionou maior teor de matéria orgânica na camada de 0,0-0,10 m.

PALAVRAS CHAVE: fosfogesso, compactação, plantio direto, *Zea mays* L., manejo de solo.

CHAPTER 2- PHYSICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL CULTIVATED WITH CORN UNDER TWO MANAGEMENT AND RESIDUAL EFFECT OF LIMESTONE AND GYPSUM

ABSTRACT

The use of limestone and gypsum and soil management can influence its attributes. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of management, limestone and gypsum on soil attributes and corn yield second crop. The experiment was conducted in Chapadão do Sul- (Brazil), being arranged in a randomized block design, in split plot arranged factors. The plots received the levels of conventional management and no-tillage and the split applications of lime and gypsum (Control, Limestone ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gypsum (2 Mg ha^{-1}), Limestone recommended dose + Gypsum ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Limestone half the recommended dose + Gypsum ($1.781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) and Limestone twice the recommended dose + Gypsum ($7.126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), with four replications. The soil bulk density and penetration resistance were not influenced by cropping systems and soil conditioning system, after 03 years of experiment deployment. The management system conventional residual effect of gypsum provided greater value of total porosity, macro and micro and organic matter in the 0.10-0.20 m layer. The no-tillage with residual effect of limestone more gypsum recommended dose provided greater content organic matter in the layer of 0.0 to 0.10 m.

KEY WORDS: phosphogypsum, compaction, no-tillage, *Zea mays* L., soil management.

98 **INTRODUÇÃO**

99
100 O plantio de milho segunda safra (*Zea mays* L.) na região Centro-Oeste
101 do Brasil é feito normalmente após a colheita da soja precoce. Essa
102 combinação de sucessão soja-milho se tornou comum, uma vez que
103 proporciona otimização do solo, das máquinas, mão de obra e diluição dos
104 custos fixos da propriedade em dois cultivos. Além disso, a soja precoce é
105 colhida em uma época de mercado aquecido e com preços melhores do que os
106 obtidos no auge do período de colheita, garantindo assim maior lucratividade
107 aos produtores rurais (CECCON & STAUT, 2007).

108 O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, deve finalizar a
109 safra 2013/2014 com colheita de quase 80 milhões e consumo interno próximo
110 de 55 milhões de toneladas. Neste contexto, com uma previsão de exportação
111 de 21 milhões de toneladas, continua sendo o segundo maior exportador do
112 cereal. O sistema de produção de milho desenvolvido no Brasil, notadamente
113 nas regiões que apresentam condições climáticas favoráveis, tem-se
114 caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de semeadura: milho
115 verão (semeadura nos meses de outubro/novembro) e segunda safra
116 (semeadura nos meses de janeiro/fevereiro/início de março). A área cultivada
117 com milho nessa segunda época no país no ano agrícola 2013/2014 foi cerca
118 de 9.182,7 milhões de hectares, com uma produção estimada superior a 48
119 milhões de toneladas e produtividade relativa de 5.255 kg ha⁻¹, sendo a região
120 Centro-Oeste responsável por 65,74% da produção nacional (CONAB, 2014).

121 Com a expansão das áreas de milho segundo cultivo surge problemas
122 de compactação da camada superficial e subsuperficial do solo na região do
123 cerrado do Brasil. Aumentando assim, o interesse pela busca de sistemas que
124 possam proporcionar melhores condições físicas no perfil do solo, em
125 semeadura direta e convencional.

126 Isso ocorre, pois as áreas em semeadura direta por vários anos, devido
127 ao longo período de tempo sem revolvimento, podem apresentar impedimentos
128 físicos e químicos para o aprofundamento do sistema radicular das culturas.
129 Nessas condições, tem-se adotado a semeadura convencional, promovendo a
130 descompactação do solo, além de redistribuir melhor os nutrientes no perfil do
131 solo. A semeadura convencional é uma opção para melhoria do ambiente
132 radicular, embora encontre algumas limitações, como a necessidade de
133 agilidade na semeadura do milho segunda safra, o alto custo energético e a
134 falta de equipamentos apropriados para realização da operação de
135 descompactação do solo na camada inferior a 0,2 m de profundidade
136 (SILVEIRA et al., 2008).

137 A calagem tem ação limitada ao local de aplicação, não tendo efeito
138 rápido na redução da acidez de camadas mais profundas, o que ocorre quando
139 o material é incorporado ao solo ou com a lixiviação de carbonatos através do
140 perfil do solo, proporcionando melhores condições dos atributos físicos e
141 químicos, resultando em melhores produtividades (BLUM et al., 2013).
142 Enquanto o gesso agrícola (CaSO₄.H₂O) atua como condicionador do solo
143 apresentando alta mobilidade no perfil, capaz de disponibilizar cálcio (Ca⁺²) e
144 enxofre (SO₄⁻²) em solução e de ser lixiviado, enriquecendo de nutrientes as
145 camadas subsuperficiais e reduzindo a saturação por alumínio (Al⁺³) em
146 profundidade (CAIRES et al., 2008).

147 A combinação de aplicação de gesso e calcário pode compensar o efeito

reduzido de reação do calcário apenas no local de aplicação, onde o gesso atua nas camadas subsuperficiais, sem que ocorra a necessidade de incorporação prévia ou revolvimento (CAIRES et al., 2003). Vale destacar, que o gesso agrícola apresenta efeito residual no solo, sobretudo em solos argilosos (CAIRES et al., 2011).

Um dos fatores mais limitantes à produção agrícola na região dos Cerrados é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e ao limitado crescimento do sistema radicular de várias culturas impostas pela deficiência de cálcio, toxidez causada pelo alumínio no subsolo e compactação (LOPES, 1994). Assim, a aplicação e incorporação de calcário visando à correção da acidez na camada arável e a aplicação superficial de gesso agrícola com o objetivo de construir a fertilidade em profundidade nos solos do Cerrado, podem aumentar o volume de solo explorado pelas raízes e consequentemente, proporcionar maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, maior produção de fitomassa e maior tolerância das plantas a seca.

Além de o gesso agrícola favorecer os atributos químicos do solo como fornecimento de cálcio, enxofre e redução da saturação por alumínio, esse condicionador de solo pode exercer influência nos atributos físicos do solo, como a densidade, porosidade total e resistência à penetração do solo (RAIJ, 2008).

No sistema de plantio direto, a aplicação de 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola proporcionou incremento da densidade do solo e diminuição da porosidade total, enquanto, no sistema de preparo convencional, o uso de gesso reduziu a densidade do solo e aumentou porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa (COSTA et al., 2007).

O efeito residual da gessagem nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto foram avaliados por Müller et al., (2012). Após 50 meses da aplicação superficial de gesso agrícola, a resistência à penetração (Rp) não foi afetada pelo efeito residual da gessagem na camada superficial, porém, na camada subsuperficial do solo ocorreu aumento da Rp. A densidade do solo diminuiu e a porosidade total aumentou com a gessagem até 0,15 m de profundidade. A gessagem diminuiu a macroporosidade e aumentou a microporosidade na camada superficial.

Portanto, a identificação de alternativas que possibilitem a melhoria dos atributos físicos do solo em profundidade no sistema de plantio convencional e semeadura direta, partindo da calagem e gessagem, podem viabilizar a permanência, a expansão e o sucesso destes sistemas na agricultura desenvolvida nos solos do Cerrado.

É importante destacar a carência de trabalhos que avaliem o efeito residual da aplicação isolada e conjunta de calcário incorporado e gesso superficial, sob sistema de semeadura direta e convencional, nos atributos físicos do solo. Assim, o trabalho objetiva avaliar o efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola nos atributos físicos e matéria orgânica no perfil do solo no sistema de manejo convencional e direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Município de Chapadão do Sul, Estado de Mato Grosso do Sul, sendo as coordenadas geográficas 18°46'13,4" S e 52°37'19,8" W e altitude de 819 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estações bem definidas, chuvosa no verão e seca no inverno, apresenta temperatura média anual variando de 13°C a 28°C, precipitação média anual de 1.850 mm e umidade relativa média anual de 64,8% (CASTRO et al., 2012).

A preparação da área experimental iniciou-se em 10 de outubro de 2011 com a aplicação e incorporação de calcário em área total, sendo a profundidade de trabalho do escarificador de 0,25 m. Após uma semana, foi realizada aplicação superficial de gesso agrícola em área total, seguida de gradagem no solo, tanto no sistema de manejo convencional (SMC) quanto no sistema de semeadura direta (SSD), antes da semeadura da primeira sucessão soja/milho. No condicionamento químico do solo, utilizou-se calcário dolomítico com 23,3% de CaO, 17,5% de MgO e 75% de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) e gesso agrícola com 18,63% de cálcio e 15,70% de enxofre. A dose de calcário adotada foi para elevar a saturação por bases para 74% na camada de 0,0-0,20 m. As recomendações para a calagem e gessagem seguiram as recomendações de Sousa & Lobato (2004).

Os critérios adotados para recomendação do gesso agrícola são saturação por alumínio (m) maior que 20% ou o teor de cálcio menor que 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0,20-0,40 m de profundidade. A quantidade de gesso agrícola a ser aplicada ao solo pode ser determinada em função do teor de argila das camadas inferiores, pela fórmula: Dose de gesso (Kg ha^{-1}) = 50 x teor de argila (%) (SOUSA & LOBATO, 2004).

É importante destacar que a área experimental no passado foi utilizada como lavoura comercial com sistema de semeadura direta e atualmente nos últimos três anos ocupada com a cultura da soja no verão e o milho na segunda safra. No histórico da área constam adubações com fosfato natural reativo. Na Tabela 1 consta a análise química da área experimental antes da instalação do experimento, com amostras retiradas na profundidade de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental em duas profundidades de amostragem realizada antes da instalação do experimento. Chapadão do Sul – MS – 2011.

Prof. (m)	pH CaCl ₂	P Mg dm ⁻³	K Mg dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al	CTC Cmol _c dm ⁻³	Al Cmol _c dm ⁻³	SB	t	M	V %	M.O g dm ⁻³
0,0-0,2	4,5	11,1	109,48	2,7	1,0	5,0	9,0	0,07	3,98	4,05	1,7	44,3	37,7
0,2-0,4	4,8	3,6	74,29	1,7	0,6	5,5	8,0	0,14	2,49	2,63	5,3	31,2	24,6

A caracterização da textura foi realizada pelo método do densímetro, conforme Embrapa (2009). O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 2 encontra-se a caracterização granulométrica do solo da área experimental.

Tabela 2. Caracterização granulométrica do solo da área experimental em diferentes profundidades. Chapadão do Sul – MS – 2011.

Frações do Solo (g kg ⁻¹)	Profundidade (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
Argila	400,40	400,40	400,40
Silte	99,60	99,60	95,20
Areia	500,00	500,00	504,40

O milho segunda safra foi cultivado no sistema de semeadura direta (SSD) e sistema de manejo convencional (SMC). O SMC consistiu do preparo do solo antes da instalação da cultura, realizado anualmente sempre com o uso de grade intermediária com 18 discos de 28 polegadas para o preparo primário e de grade niveladora com 28 discos de 20 polegadas para o preparo secundário. A semeadura do milho foi de forma mecanizada utilizando uma semeadora/adubadora e ocorreu no dia 20 de fevereiro de 2014. O híbrido utilizado foi o CD 3715PRO de ciclo tardio. A adubação de manutenção foi realizada com uma aplicação na linha de semeadura de 20 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 42 kg ha⁻¹ K₂O. Na adubação de cobertura foram aplicados 25 kg ha⁻¹ de Nitrogênio e 60 kg ha⁻¹ K₂O no dia 07 de março de 2014, onde a cultura encontrava-se no estágio fenológico V2 (plântulas com 2 folhas totalmente desenvolvidas) sendo realizada a lanço, manualmente, de forma homogênea e sem incorporação.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições distribuídas em parcelas de 5 x 5 m, sendo a parcela útil constituída de 3 linhas centrais de 3 metros de comprimento. Consideraram-se como parcelas os dois sistemas de manejo do solo (SSD e SMC) e como subparcelas os sistemas de condicionamento do solo, com os seguintes tratamentos: Controle, Calcário (3,563 Mg ha⁻¹), Gesso (2 Mg ha⁻¹), Calcário dose recomendada + Gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), Calcário metade da dose recomendada + Gesso (1,781 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹) e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso (7,126 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹).

As amostras foram coletadas aos 30 meses após a aplicação do calcário e do gesso, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade, na área útil de cada subparcela. Cada amostra foi composta por quatro amostras simples nas três camadas avaliadas, coletadas sempre na entrelinha da cultura do milho segunda safra. As amostras indeformadas para determinação das análises físicas foram retiradas em anel de aço de Kopecky e as amostras para determinação de matéria orgânica foram coletadas com a utilização de trado tipo sonda.

A precipitação pluvial anual ocorrida desde a instalação do experimento em 2011 até a realização de cada uma das amostragens em 2014 foi de 1.544, 1.832, 1.746 e 1.660 mm, respectivamente.

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico. A porosidade total (Pt), pela percentagem de saturação por água do solo, a microporosidade (Mi) e a macroporosidade do solo (Ma) foram determinadas pela mesa de tensão (EMBRAPA, 1997).

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) em meio ácido e o excesso de dicromato foi titulado com (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ (EMBRAPA, 2009).

Para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP), utilizou-se o penetrômetro eletrônico digital (PenetroLOG) da marca Falker, sendo os dados de RP classificados (a cada 0,10 m) até 0,30 m de profundidade e apresentados em Megapascal (MPa). Fizeram-se, aleatoriamente, quatro amostragens em cada parcela experimental. Foi mensurada a umidade do solo nas mesmas profundidades no mesmo dia do teste de resistência à penetração.

Os dados foram avaliados pelo teste de Tukey para comparação de médias, com desdobramento das interações significativas, para tal ação utilizou-se para análise estatística o software Assistat (SILVA & AZEVEDO, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola no solo para as variáveis resistência à penetração (Rp) e densidade do solo (Ds) nas três camadas avaliadas (0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) (Tabela 3). Estes resultados concordam com Pessoni, (2012) que após 20 meses da aplicação isolada ou combinada de calcário e gesso agrícola não verificou diferenças significativas na densidade do solo (Ds) na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistema plantio direto.

Resultados que não corroboram com este trabalho foram encontrados por Müller et al., (2012), verificando os efeitos da aplicação superficial de gesso agrícola na qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Os autores observaram incrementos lineares na Rp nas camadas de 0,075-0,15 e 0,15-0,30 m e diminuição da Ds na camada 0,075-0,15 m. Os autores justificam tal fato pelo aumento do teor de cálcio no subsolo devido à aplicação de gesso, o que aumenta as forças de agregação no solo, propiciando a formação de agregados maiores. Conforme Misra; Dexter & Alston, (1986) o aumento do tamanho do agregado aumenta a força necessária para penetração da raiz no solo, de modo que a Rp medida pelo penetrômetro também aumenta com a gessagem. A explicação para diminuição da Ds pela gessagem está no fato do gesso aumentar o tamanho e a porosidade entre os agregados do solo (MISRA; DEXTER & ALSTON, 1986) uma vez que o gesso age como agregante pelo fornecimento de cátions que atuam na neutralização das cargas negativas (ROSA JÚNIOR et al., 2001). A calagem pode potencializar este fenômeno, em razão do aumento do pH do solo e da concentração dos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução do mesmo, promovendo maior dissolução dos grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica. A ação floclulante da calagem é ainda mais importante em solos com predomínio de óxidos de ferro e de alumínio, devido ao aumento da concentração de cargas negativas promovido pela reação do calcário no solo (CASTRO FILHO & LOGAN, 1991).

De maneira semelhante ao ocorrido com a densidade do solo e resistência à penetração, também não houve efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola no solo para a variável porosidade total, macroporosidade e microporosidade, tanto na camada de 0,0 a 0,10 m quanto na camada de 0,20 a 0,30 m (Tabela 3). Estes resultados são reflexos da ausência de respostas na Ds e Rp nestas camadas de solo no presente trabalho. Já no trabalho de Müller et al., (2012) houve aumento linear da porosidade total em função das doses de gesso na camada de 0,075-0,15 m,

devido à diminuição da Ds nesta camada de solo.

Quando se compara os valores de porosidade total, em função dos sistemas de manejo de solo estudados, na camada de 0,00 a 0,10 m (Tabela 4), pode-se observar que o sistema de manejo convencional (SMC) apresentou maior porosidade total em relação ao sistema de semeadura direta (SSD) ($p < 0,05$). Possivelmente, ocorreu efeito da maior mobilização superficial do solo pelo arado de disco. Os resultados deste estudo concordam com os da maioria dos trabalhos que mencionam menor porosidade total em sistema de semeadura direta (SSD) na camada superficial (SILVEIRA et al., 2008; SILVEIRA NETO et al., 2006).

Embora o sistema de semeadura direta tenha apresentado menor porosidade total, em relação ao SMC, tal condição, tem ocorrência apenas nos primeiros anos, deixando de existir com o passar do tempo, pois a deposição frequente de resíduos orgânicos na camada superficial do solo promove aumento da atividade biológica e, conseqüentemente, tal atividade se encarrega de melhorar as condições físicas do solo (CORSINI & FERRAUDO, 1999). Como o presente estudo foi realizado em área sob SSD implantado há três anos, o acúmulo de resíduos orgânicos ainda não foi suficiente para aumentar a porosidade total do solo.

A porosidade total ($p < 0,01$), macroporosidade ($p < 0,05$) e a microporosidade ($p < 0,01$) do solo foram influenciadas significativamente pela interação, forma de manejo do solo e aplicação de calcário e gesso agrícola na profundidade de 0,10-0,20 m de solo (Tabela 3). A microporosidade e a porosidade total nesta camada de solo foram as variáveis mais afetadas pelos sistemas de condicionamento químico do solo, o que foi constatado pelos maiores valores de F, 43,85 e 42,73, respectivamente (Tabela 3).

A porosidade total do solo é a soma dos macroporos e microporos, de forma que o aumento de um reduzirá a porcentagem do outro (WENDLING et al., 2012). No caso do solo do trabalho em questão, os resultados evidenciam que a porosidade desse solo é constituída predominantemente por microporos. Nesse sentido, valores altos de microporos são justificados pela textura argilosa do solo do presente estudo (Tabela 01). As partículas de solos argilosos tendem a se arranjar de forma a estabelecerem um contato face a face, gerando uma estrutura mais adensada, na qual as partículas individuais de argila ocupam (bloqueiam) os espaços dos poros formados pelos agregados, fazendo com que predominem no solo os microporos (SANTOS et al., 2013).

O sistema de manejo convencional com efeito residual da gessagem proporcionou maiores valores para os atributos físicos porosidade total, macroporosidade e microporosidade em relação ao sistema de semeadura direta na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5). A explicação para tal fato é atribuída ao efeito condicionador do gesso agrícola no solo. Como a gessagem não aumenta o pH e a capacidade de troca de cátions (OCOUTO et al., 1979; PAVAN, 1984; ROSA JUNIOR et al., 1994; DONTSOVA & NORTON, 2002), devido ao fornecimento de cátions que neutralizam parte das cargas negativas, o gesso proporciona aproximação do ponto de carga zero (PCZ) ao pH (ROSA JUNIOR et al., 2006, SERAFIM et al., 2012). A máxima aglomeração de partículas ocorre em valores de pH onde o balanço de cargas é nulo, ponto de carga zero líquida igual ao pH (PARKES & BRUYN, 1962) e quando as partículas se organizam em agregados, há a criação de poros como

consequência da estruturação do solo (REINERT & REICHERT, 2006).

Tabela 03- Quadrado Médio da Análise de variância para Matéria Orgânica do Solo (MOS), Porosidade Total (PT), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Densidade do Solo (Ds) e Resistência à Penetração (Rp) em função dos sistemas de manejo e sistemas de condicionamento do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

FV ¹	MOS	PT	Ma	Mi	Ds	Rp
Camada 0,0-0,10 m						
SM	17,21 ^{ns}	364,59 [*]	0,282 ^{ns}	289,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,006 ^{ns}
SC	16,16 ^{**}	33,41 [*]	0,129 ^{ns}	34,33 [*]	0,01 ^{ns}	0,014 ^{ns}
SMxSC	3,57 ^{**}	18,67 ^{ns}	0,346 ^{ns}	17,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,003 ^{ns}
ResSM	2,63	34,85	0,071	32,69	0,03	0,020
ResSC	0,58	11,89	0,083	12,47	0,09	0,023
CVSM	13,08	12,19	15,12	12,65	12,87	20,33
CVSC	6,17	7,12	16,36	7,81	6,67	22,11
Camada 0,10-0,20 m						
SM	0,58 ^{ns}	192,3 ^{**}	1,654 [*]	92,49 ^{**}	0,04 ^{ns}	0,300 ^{ns}
SC	4,78 [*]	25,20 ^{**}	0,142 ^{ns}	18,79 ^{**}	0,004 ^{ns}	0,106 ^{ns}
SMxSC	18,18 ^{**}	43,91 ^{**}	0,213 [*]	36,11 ^{**}	0,003 ^{ns}	0,110 ^{ns}
ResSM	0,42	1,49	0,158	0,75	0,03	0,167
ResSC	1,42	1,02	0,073	0,82	0,008	0,116
CVSM	5,52	2,65	23,12	2,02	12,41	21,89
CVSC	10,11	2,20	15,71	2,11	6,27	18,28
Camada 0,20-0,30 m						
SM	0,030 ^{ns}	9,55 ^{ns}	0,006 ^{ns}	19,76 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,375 ^{ns}
SC	0,205 ^{ns}	12,82 ^{ns}	0,057 ^{ns}	11,67 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,115 ^{ns}
SMxSC	0,107 ^{ns}	9,69 ^{ns}	0,03 ^{ns}	15,18 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,238 ^{ns}
ResSM	0,438	9,28	0,05	7,07	0,02	0,094
ResSC	0,154	16,04	0,03	16,84	0,007	0,184
CVSM	20,88	6,20	27,60	5,79	11,03	13,72
CVSC	12,41	8,16	21,46	8,93	6,19	19,12

¹ Fonte de Variação = **SM**: sistema de manejo do solo; **SC**: sistema de condicionamento do solo; **SMxSC**: Interação entre sistema de manejo x sistema de condicionamento do solo; **ResSM**: resíduo sistema de manejo do solo; **ResSC**: resíduo sistema de condicionamento do solo; **CVSM**: coeficiente de variação de sistema de manejo do solo (%) e **CVSC**: coeficiente de variação de sistema de condicionamento do solo (%). **ns**, *****, ******: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F.

Obs: Os dados de macroporosidade nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m foram transformados utilizando $\sqrt{x}$. Os dados de matéria orgânica e macroporosidade na camada de 0,20-0,30 m foram transformados utilizando $\sqrt{x}$.

Os valores muito baixo de macroporos podem ser explicados pela transformação de macroporos em microporos em virtude da compactação, conforme Silva et al., (1986). Também pode ser devido ao aumento na agregação do solo promovida pela gessagem, promovendo à transformação dos macroporos em microporos. No trabalho de Müller et al., (2012) o gesso agrícola diminuiu a macroporosidade do solo na camada 0,0-0,075 m e aumentou a microporosidade nesta camada, devido parte dos macroporos serem transformados em microporos pela ação floclulante do gesso, uma vez que a microporosidade correspondeu aos poros intra-agregados. Segundo Othmer, Diekkrüger & Kutilek (1991) isso é devido ao incremento na agregação do solo promovido pelo gesso, devido à ação floclulante proporcionada pelo cálcio deste insumo, uma vez que os microporos são fortemente influenciados pela agregação e pouco influenciados por alterações na Ds provocadas pelo tráfego de máquinas e equipamentos (SILVA & KAY, 1997).

Tabela 4. Comparação das médias de resistência à penetração (Rp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e matéria orgânica do solo (MOS) em função do sistema de manejo e camada avaliada. Chapadão do Sul – MS – 2014.

Profundidade (m)	SMC ^x	SSD ^y	CV (%) ^z
Rp (MPa)			
0,00-0,10	0,49a	0,51a	20,33
0,10-0,20	1,78a	1,94a	21,89
0,20-0,30	2,15a	2,33a	13,72
Ds (Mg m⁻³)			
0,00-0,10	1,39a	1,46a	12,87
0,10-0,20	1,44a	1,50a	12,41
0,20-0,30	1,42a	1,40a	11,03
PT (m³ m⁻³)			
0,00-0,10	0,51a	0,45b	12,19
0,20-0,30	0,48a	0,49a	6,20
Ma (m³ m⁻³)			
0,0-0,10	0,03a	0,02a	29,77
0,20-0,30	0,03a	0,02a	27,60
Mi (m³ m⁻³)			
0,00-0,10	0,47a	0,42a	12,65
0,20-0,30	0,45a	0,46a	5,79
MOS (g kg⁻¹)			
0,20-0,30	10,3a	10,1a	20,88

Médias seguidas de letras iguais minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. SMC^x: Sistema de manejo convencional; SSD^y: Sistema de semeadura direta, CV^z: Coeficiente de Variação (%).

Desta forma, uma vez que os microporos retêm água disponível para as plantas (BRADY & WEIL, 2008), o efeito do gesso agrícola de aumentar a microporosidade na camada arável, onde nutrientes estão concentrados em solos sob SMC e SSD (CASSOL et al., 2002), pode aumentar a disponibilidade de água e nutrientes para as culturas. Como também, o gesso agrícola aumenta a porosidade total e macroporosidade nesta camada de solo, o gesso pode favorecer a distribuição de raízes em maior profundidade no perfil do solo, resultando em uma melhor absorção de nutrientes e água para o milho segunda safra (safrinha).

Os menores valores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade no sistema de semeadura direta em relação ao sistema de manejo convencional para o tratamento gesso agrícola (2 Mg ha⁻¹), conforme (Tabela 5), pode ser em função da neutralização parcial de íons alumínio pelo sulfato do gesso agrícola, fato que pode nos Latossolos, promover a dispersão de agregados já existentes (ROSA JUNIOR, 1994). A neutralização de íons alumínio pela aplicação de gesso poderia ser mediante a troca de hidroxilas (OH⁻) pelo sulfato (SO₄²⁻) com a formação de estruturas hidroxiladas de alumínio (Al), mecanismo chamado de "autocalagem" (REEVE & SUMNER, 1972). Pode também ter ocorrido precipitação de Al com a formação de minerais (ADAMS & RAWAYFIH, 1977). Outra possibilidade seria a lixiviação de Al acompanhando o gesso, o que pode ser, em parte, favorecida pela formação, principalmente, de pares iônicos ou complexos AlSO₄⁺ (PAVAN et al., 1984). Esses resultados corroboram com Costa et al., (2007), que estudando os efeitos do gesso agrícola na porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com soja no plantio convencional e direto, verificaram que adição de 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola causou redução da porosidade total no plantio direto e aumento no plantio convencional.

Tabela 5. Desdobramento da interação sistema de manejo x sistemas de condicionamento químico do solo obtido para a avaliação de matéria orgânica do solo (MOS) na profundidade (0,0-0,10 e 0,10-0,20 m), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) na camada de 0,10-0,20 m. Chapadão do Sul – MS – 2014.

Sistema de Cultivo	Sistemas de Condicionamento do Solo						C.V ⁷	
	1 ¹	2 ²	3 ³	4 ⁴	5 ⁵	6 ⁶		
MOS (g Kg ⁻¹)								
0,00- 0,10m								
SMC ^x	14,4aA	10,8aCD	10,1aD	12,7bB	11,8aBC	10,9bCD	6,17	
SSD ^y	13,8aAB	11,0aC	11,5aC	15,0aA	12,5aBC	13,9aAB		
MOS (g Kg ⁻¹)								
0,10- 0,20m								
SMC	11,9aB	9,0bC	10,6aBC	13,0aAB	15,0aA	11,9aB	10,11	
SSD	10,6aB	14,1aA	11,8aAB	11,0bB	11,5bB	11,0aB		
Pt (m ³ m ⁻³)								
0,10- 0,20m								
SMC	0,453bC	0,488aB	0,456aC	0,492aB	0,545aA	0,451aC	2,20	
SSD	0,480aA	0,441bB	0,437bB	0,424bB	0,435bB	0,427bB		
Ma (m ³ m ⁻³)								
0,10- 0,20m								
SMC	0,033aB	0,041aAB	0,033aB	0,031aB	0,053aA	0,030aB	28,91	
SSD	0,022aA	0,028aA	0,016bA	0,028aA	0,021bA	0,032aA		
Mi (m ³ m ⁻³)								
0,10- 0,20m								
SMC	0,420bC	0,447aB	0,422aC	0,461aB	0,492aA	0,421aC	2,17	
SSD	0,458aA	0,412bBC	0,421aB	0,396bC	0,414bBC	0,395bC		

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. SMC^x: Sistema de Manejo Convencional, SSD^y: Sistema de Semeadura Direta, 1¹: Controle, 2²: Calcário dobro da dose recomendada + Gesso (7,126 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), 3³: Calcário metade da dose recomendada + Gesso (1,781 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), 4⁴: Calcário dose recomendada + Gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), 5⁵: Gesso (2 Mg ha⁻¹) e 6⁶: Calcário (3,563 Mg ha⁻¹), C.V⁷: Coeficiente de Variação (%).

Os menores valores de macroporosidade nos tratamentos que receberam calcário no SMC na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5) sugerem que as alterações causadas pela calagem podem favorecer a redução de macroporos no solo. A calagem diminui a floculação e aumenta o conteúdo de argila dispersa em água do solo, provocando desestabilização dos agregados. Na região dos cerrados predominam Latossolos com elevada contribuição de óxidos de ferro e alumínio. Essa composição mineralógica favorece a dispersão de agregados quando da adição de ânions, principalmente, os carbonatos resultantes da dissolução do calcário (GOEDERT, 1987). Os carbonatos e os fosfatos atuam como neutralizadores do efeito floculante dos cátions Al³⁺ e H⁺, com o consequente aumento do pH e das cargas negativas de óxidos de ferro e alumínio e da caulinita (MORELLI & FERREIRA, 1987).

Estudos recentes (BERTOLLO, 2014; CASTRO, CALONEGO & CRUSCIOL, 2011; CASTRO, 2012) apontam que a calagem resulta na melhoria do sistema poroso do solo, com aumentos nos níveis de macroporos, o que não foi verificado no presente estudo.

A literatura preconiza como sendo o solo ideal aquele que apresente valores de 0,06 a 0,16 m³ m⁻³ para macroporosidade, de até 0,33 m³ m⁻³ para microporosidade e aproximadamente 0,50 m³ m⁻³ para porosidade total do solo

(VOMOCIL & FLOCKER 1961; HILLEL 1970; BAVER, 1972; KIEHL, 1979; GUPTA & ALLMARAS, 1987; RIBEIRO et al., 2007). Com base na literatura, os resultados permitem inferir que a macroporosidade está abaixo do ideal e a microporosidade apresenta-se com valores mais elevados do que os preconizados como ideais para o desenvolvimento das culturas, conforme visto anteriormente. Os diferentes sistemas de cultivo e uso do solo provocam alterações nos atributos físicos, e a consequência dessas alterações é refletida em menores valores de macroporosidade e maiores de microporosidade (KLEIN & LIBARDI, 2002).

Dessa forma, o solo do presente estudo por apresentar valores baixos de macroporos e alto de microporos, necessita de práticas de manejo que aumentem a macroporosidade e reduza a microporosidade visando melhorar a aeração do solo.

Para o atributo do solo matéria orgânica, não houve interação significativa entre sistemas de manejo e efeito residual de calcário e gesso agrícola na camada 0,20-0,30 m (Tabela 3).

A variação dos teores da matéria orgânica do solo (MOS), em função dos sistemas de cultivo e sistemas de condicionamento do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m são apresentadas na (Tabela 5), sendo influenciada significativamente ($p < 0,01$) pela interação supracitada na profundidade de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 3).

Na camada de 0,00-0,10 m maiores valores de MOS foram no SSD quando se utilizou calcário dose recomendada + gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e calcário ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Tabela 5. O maior teor de MOS na superfície do solo foi resultante da ausência de mobilização do solo no SSD, que ocasiona a deposição e o acúmulo dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Além disso, a calagem provavelmente proporcionou maior produção de fitomassa por área, devido a melhorias nas condições edáficas e, principalmente, em razão da neutralização do Al^{3+} (RIDLEY et al., 1990; HATI et al., 2008).

O tratamento controle no sistema de manejo convencional apresentou maior teor de MOS na camada de 0,0-0,10 m, uma vez que a aplicação de gesso agrícola no sistema plantio direto reduz a matéria orgânica do solo (SOUZA et al., 2012). Este fato pode ser devido ação do gesso no solo e, consequentemente, na atividade microbiana, pois ao lixiviar no perfil do solo o gesso favorece o aumento de teores de cálcio e redução dos teores de alumínio, promovendo maior aprofundamento das raízes, as quais se distribuem melhor no perfil do solo propiciando a mineralização mais profunda e acelerada da matéria orgânica (SOUZA et al., 2012).

Os maiores valores de MOS na camada de 0,10-0,20 m foram obtidos no sistema de SMC quando se utilizou 2 Mg ha^{-1} de gesso (aumento de 20,66% em relação ao controle) e calcário dose recomendada + gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Tabela 5. O maior teor de MOS no SMC para os tratamentos supracitados na camada de 0,10-0,20 m pode ter ocorrido também pela ação de agregação provocada pelo gesso nessa camada, o que melhora as condições para o desenvolvimento microbiano, proporcionando incremento na MOS decorrente da biomassa microbiana. Isso corrobora o relatado de Rosa Junior (1991). Dessa forma, o uso de Gesso + calcário no SMC aliado ao maior teor de matéria orgânica e argila no subsolo favorecem a proteção física da MOS em formas estáveis e humificadas, possibilitando assim maior acúmulo e

menores perdas de nitrogênio (ROSA JUNIOR, 1991).

CONCLUSÕES

No sistema de manejo convencional, a aplicação de gesso agrícola proporcionou maior valor de porosidade total, macroporosidade, microporosidade e matéria orgânica na camada de 0,10-0,20 m.

O efeito residual da aplicação de calcário dose recomendada mais gesso agrícola na semeadura direta proporcionou maior teor de matéria orgânica na camada de 0,0-0,10 m.

O efeito residual da aplicação de calcário e gesso no solo não influenciou os atributos físicos resistência à penetração e densidade do solo em nenhuma das camadas avaliadas.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, F. & RAWAYFIH, Z. 1977. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. *Soil Science Society America Journal*, 41: 686-692.

BAVER, L.D. GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. 1972. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: BAVAR, L.D. GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. *Soil physics*. 4. Ed. New York: J. Wiley, pp: 178-223.

BERTOLLO, A.M. 2014. Propriedades físicas de um Latossolo após calagem, gessagem em manejos de solo. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS - FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, RS. Disponível em: http://coral.ufsm.br/ppgaaa/images/Altamir_Mateus_Bertollo.pdf. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.

BLUM, S.C. CAIRES, E.F. & ALLEONI, L.R.F. 2013. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13: 279-300. Disponível em: <http://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v13n2/aop2413.pdf>. Acesso em 03 de agosto de 2014.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. 2008. *The nature and properties of soils*. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall.

CAIRES, E. F. BLUM, J. BARTH, G. GARBUIO, F. J. & KUSMAN, M. T. 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 275-286. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16229.pdf>. Acesso em 08 de outubro de 2014.

CAIRES, E.F. GARBUIO, F.J. CHURKA, S. BARTH, G. & CORRÊA, J.C.L. 2008. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *European Journal of Agronomy*, 28: 57-64. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.002>. Acesso em 28 de julho de 2014.

CAIRES, E.F. JORIS, H.A.W. & BLUM, S.C. 2011. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use and Management*, 27: 45-53. Disponível

- 589 em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x/pdf>.
 590 Acesso em 10 de julho de 2014.
- 591 **CALONEGO, J.C.; SANTOS, C.H.; TIRITAN, C.S. & JÚNIOR, J.R.** 2012.
 592 Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes
 593 sistemas de manejo. Revista Caatinga, v. 25, p. 128-135. Disponível em:
 594 <http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/2078>.
 595 Acesso em 10 de agosto de 2014.
- 596 **CASSOL, E. A. LEVIEN, R. ANGHINONI, I. & BADELUCCHI, M. P.** 2002.
 597 Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de
 598 pastagem nativa no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo,
 599 Campinas, 26: 705-712.
 600 Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n3a15.pdf>. Acesso em
 601 10 de novembro de 2014.
- 602 **CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J.** 1991. Liming effects on the stability and
 603 erodibility of some Brazilian Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 55, p.1407-1413.
- 604 **CASTRO, G. S. A.** 2012. Atributos do solo decorrentes dos sistemas de
 605 produção e da aplicação superficial de corretivos. 2012. 155 f. Tese (Doutorado
 606 em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP, Botucatu.
 607 Disponível em:
 608 http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99938/castro_gsa_dr_b
 609 [otfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99938/castro_gsa_dr_b/otfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em 10 de outubro de 2014.
- 610 **CASTRO, G. S. A.; CALONEGO, J. C. & CRUSCIOL, C. A. C.** 2011.
 611 Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o
 612 uso de corretivos da acidez. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 46,
 613 n. 12, p. 1690-1698. Disponível em:
 614 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-
 615 [204X2011001200015](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011001200015). Acesso em 10 de outubro de 2014.
- 616 **CASTRO, M.A. CUNHA, F.F. LIMA, S.F. NETO, V.B.P. LEITE, A.P., &**
 617 **MAGALHÃES, F.F.** 2012. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com
 618 pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense.
 619 Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research
 620 medium, 3: 498-512. Disponível em:
 621 <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/viewFile/17844/1123>
 622 [4](http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/viewFile/17844/11234). Acesso em 28 de novembro de 2014.
- 623 **CECCON, G. & STAUT, L.A.** 2007. 9º Seminário Nacional de Milho Safrinha:
 624 rumo a estabilidade, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. Disponível
 625 em:<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37992/1/DOC200789.pdf>
 626 f. Acesso em 28 de novembro de 2014.
- 627 **Conab.** 2014. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da
 628 Safra Brasileira de Grãos 2013/2014. Disponível em
 629 http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_bo
 630 [letim_graos_setembro_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_bo/letim_graos_setembro_2014.pdf)>. Acesso em: 10 de novembro de 2014.
- 631 **CORSINI, P. C. & FERRAUDO, A. S.** 1999. Efeitos de sistemas de cultivo na
 632 densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho
 633 em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34: 289-298.
 634 Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n2/8738.pdf>. Acesso em 10 de
 635 agosto de 2014.
- 636 **COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F. &**
 637 **ROSA, C. B. J.** 2007. Atributos físicos de um Latossolo sendo influenciado pelo
 638 manejo do solo e efeito da gessagem. Acta Scientiarum Agronomy, v. 29, p.

- 701-708. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180786212007000500017&script=sci_artt_ext.
- COUTO, W. LATHWELL, D.J. & BOUDIN, D.R.** 1979. Sulfato sorption by two oxisols and a alfissol of the tropics. *Soil Science*, 127: 108-116.
- DONTOVA, K.M. & NORTON, L. D.** 2002. Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. *Soil Science Society of America Journal*, 167: 184-193. Disponível em: http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2002/03000/CLAY_DISPERSION,_INFILTRATION,_AND_EROSION_AS.3.aspx. Acesso em 15 de Agosto de 2014.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 2009. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 212 pp.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 2013. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 pp.
- GOEDERT, W.J.** 1987. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Embrapa Cerrados, Planaltina, 442 pp.
- GUPTA, S.C. & ALLMARAS, R.R.** 1987. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. *Advances in Soil Sciences*, Madison, 6: 65-100.
- HATI, K.M. SWARUP, A. MISHRA, B.; MANNA, M.C. WANJARI, R.H. MANDAL, K.G. & MISRA, A.K.** 2008. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of na Alfisol. *Geoderma*, 148: 173-179. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706108002632>. Acesso em 05 de outubro de 2014.
- HILLEL, D.** 1970. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 231 pp.
- KIEHL, E.J.** 1979. Manual de edafologia. Relações solo-planta. Ceres, São Paulo, 262 pp.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P. L.** 2002. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 857-867. Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n4a03.pdf>. Acesso em 06 de agosto de 2014.
- LOPES, A.S.** 1994. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária.** ANDA, boletim técnico nº5, 2ª edição, São Paulo, 62p. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em: http://www.anda.org.br/multimidia/boletim_05.pdf.
- MISRA, R.; DEXTER, A. & ALSTON, A.** 1986. Penetration of soil aggregates of finite size. II. Plant roots. *Plant Soil*, 94:59- 85. Disponível em: http://download.springer.com/static/pdf/673/art%253A10.1007%252FBF02380589.pdf?auth66=1424873061_26812fa5d91eaac9eeaeaad3a02aa2c9&ext=.pdf. Acesso em 10 de outubro de 2014.
- MORELLI, M. & FERREIRA, E.B.** 1987. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 11: 1-6.
- MÜLLER, M.M.L. TORMENA, C.A. GENÚ, A.M. KRAMER, L.F.M. MICHALOVICZ, L. & CAIRES, E.F.** 2012. Structural Quality of a No-Tillage Red Latosol 50 Months After Gypsum Application. *Revista Brasileira de Ciência*

- do Solo, 36: 1005-1013. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832012000300030&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em maio de 2014.
- OTHMER, H. DIEKKRÜGER, B. & KUTILEK, M.** 1991. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science*, 152: 139-150. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/Australian_Journal_of_Experimental_Agriculture_232215380_Bimodal_Porosity_and_Unsaturated_Hydraulic_Conductivity. Acesso em 10 de novembro de 2014.
- PARKS, G.A. & BRUYN, P.L.** 1962. The zero point of charge of Oxides. *Journal of Physical Science*, 66: 967-973. Disponível em:
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/j100812a002>. Acesso em 10 de agosto de 2014.
- PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A.C.V.** 2014. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:495-505, 2014. Disponível em:
 Acesso em: 01 de fevereiro de 2015.
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832014000200014&script=sci_arttext.
- PAVAN, M.A. BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F.** 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48: 33-38. Disponível em:
<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/48/1/SS0480010033>. Acesso em 10 de julho de 2014.
- PESSONI, P.T.** 2012. Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale. 2012, 93 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP. Disponível em:
<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1212210%20Patricia%20Terezinha%20Pessionni.pdf>. Acesso em 01 de agosto de 2014.
- RAIJ, B. V.** 2008. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 233 p.
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E.** 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. *Agrochimophysics*, 4: 1-6.
- REINERT, D.J. & REICHERT, J.M.** 2006. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 18 pp.
- RIBEIRO, K. D. MENEZES, S.M. MESQUITA, M. da G.B. de F. & SAMPAIO, F. de M.T.** 2007. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31: 1167-1175. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542007000400033. Acesso em 28 de julho de 2014.
- RIDLEY, A.M. SLATTERY, W.J. HELYER, & K.R. COWLING, A.** 1990. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. 30: 529-537. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/?paper=EA9900529>. Acesso em 15 de outubro de 2014.
- ROSA JUNIOR, E.J.** 1991. Relação solo–organismos-plantas: parte I. Campo Grande: Imprensa Universitária.
- ROSA JUNIOR, E. J.; CREMON, C.; MARTINS, R.M.G. & RODRIGUES, E. T.** 2001. Gesso e calcário como condicionadores de atributos de um Latossolo sob cultivo de soja–milho. Cerrados: *Revista Ciência Agrária*, Campo Grande:

- UFMS, v.2/4, n. 3/8, p.45–50.
- ROSA JUNIOR, E.J. MARTINS, R.M.G. ROSA, Y.B.C.J. & CREMON, C.** 2006. Calcário e gesso como condicionante físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36: 37-44. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/viewArticle/2170>. Acesso em 15 de julho de 2014.
- ROSA JUNIOR, E.J. VITORINO, A.C.T & VITORINO, P.F.P.G.** 1994. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico de Dourados-MS. *Revista de Ciências Agrárias*, 1: 5-12.
- SANTOS, G.G. MARCHÃO, R.L. SILVA, E.M. NÓBREBA, J.C.A. & NETO, C.A.L.** 2013. Distribuição de poros e sua relação com atributos físico-hídricos em solos de cerrado e cerrado/caatinga. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/976269/1/33791.pdf>. Acesso em: Agosto/2014.
- SERAFIM, M.E. LIMA, J.M. LIMA, V.M.P. ZEVIANI, W.M. & PESSONI, P.T.** 2012. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. *Bragantia*, 71: 75-81. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000687052012000100012. Acesso em: Agosto/2014.
- SILVA, F. de A.S. & AZEVEDO, C.A.V.** 2006. A new version of the assistat-statistical assistance software. In: World Congress on Computers in Agriculture, 4, Orlando. Anais... Orlando: American Society of Agricultural Engineers. p. 393-396.
- SILVA, A.P. & KAY, B.D.** 1997. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society America Journal*, 61: 877-883. Disponível em: <https://www.soils.org/publications/sssai/abstracts/61/3/SS0610030877?access=0&view=pdf>. Acesso em 06 de agosto de 2014.
- SILVA, A.P. LIBARDI, P.L. & CAMARGO, D.A.** 1986. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10: 91-95.
- SILVEIRA NETO, A.N. SILVEIRA, P.M. STONE, L.F. & OLIVEIRA, L.F.C.** 2006. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36: 29-35, Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/PAT36%281%29IDWY5s22pRxp.pdf>. Acesso em 21 de julho de 2014.
- SILVEIRA, P.M. STONE, L.F. JÚNIOR, J.A. & SILVA, J.G.** 2008. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. *Bioscience Journal*, 24: 53-59. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6787/4481>. Acesso em 05 de outubro de 2014.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E.** 2004. Cerrado: correção do solo e adubação, 2ª ed. Embrapa Cerrados, Brasília, Brasil.
- SOUZA, F.R. ROSA JUNIOR, E.J. FIETZ, C.R. BERGAMIN, A.C. ROSA, Y.B.C.J. & ZEVIANI, W.M.** 2012. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. *Semina: Ciências Agrárias*, 33: 1717-1732. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/7814/11551>.

Acesso em 11 de outubro de 2014.

VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil and water. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 4: 242-246. Disponível em:

<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=41066&t=2&redir=&redirType> Acesso em 10 de Agosto de 2014.

WENDLING, B. VINHAL-FREITAS, I.C. OLIVEIRA, R.C.de. BABATA, M.M. & BORGES, E.N. 2012. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. Bioscience Journal, 28: 256-265. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/13277/8371>.

Acesso em 03 de julho de 2014.