

THIAGO PRUDENTE SIQUEIRA

FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE  
NO CULTIVO DO MILHO EM CONDIÇÕES CONTROLADAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

Coorientador

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

- S618f  
2018
- Siqueira, Thiago Prudente, 1988  
Formas de aplicação de fontes de cálcio, magnésio e enxofre no cultivo do milho em condições controladas / Thiago Prudente Siqueira. - 2018.  
109 f. : il.
- Orientador: Hamilton Seron Pereira.  
Coorientador: Gilberto Fernandes Corrêa.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.796>  
Inclui bibliografia.
1. Agronomia - Teses. 2. Milho - Cultivo - Teses. 3. Solos - Correção - Teses. 4. Solos - Fertilidade - Teses. I. Pereira, Hamilton Seron. II. Corrêa, Gilberto Fernandes. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

---

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

THIAGO PRUDENTE SIQUEIRA

FORMAS DE APLICAÇÃO DE FONTES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE  
NO CULTIVO DO MILHO EM CONDIÇÕES CONTROLADAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa  
(coorientador)

UFU

Prof. Dr. Enio Tarso Souza Costa

UFU

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Angélica Araújo Queiroz

IFTM

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

*“O importante não é aquilo que fazem de nós,  
mas o que nós mesmos fazemos do que os outros  
fizeram de nós.”*

*- Jean-Paul Sartre*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar ao meu lado e ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A CAPES pelo fomento da bolsa.

A Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Ao meu Orientador Professor Hamilton Seron Pereira, pela sua orientação, paciência e sua amizade.

Ao Professor Gaspar Henrique Korndörfer pelo auxílio em meu crescimento profissional.

Ao Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura” - GPSi, especialmente aos companheiros Luiz Henrique, Pedro Magno, Bruno Guimarães, Luiz Felipe, Antônio Neto, Everson Aguiar, Carol Marostica, Camila Carvalho, Bruno Niccho e Gustavo Alves, que estavam sempre prontos a ajudar ao longo dessa caminhada.

A todos os funcionários do Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG, pela disposição em sempre auxiliar.

A todos aqueles que me ajudaram de uma forma ou de outra na realização desse trabalho.

Ao meu filho Pedro Augusto, que sempre foi um incentivo para buscar melhorar em todos os aspectos.

A minha enteada Ana Clara pelos ensinamentos.

A minha família, em especial minha mãe Adriana e minha madrinha Maria Elizabeth (Beth), que sempre acreditaram e lutaram para que eu chegasse até aqui.

E por último, mas muito importante Ana Carolina Pereira de Vasconcelos, que Deus colocou em meu caminho em 2012, e que fez uma forcinha e me permitiu entrar em sua vida, ao longo desses anos foi uma companheira indescritível que me faz melhorar a cada dia, crescer como pessoa e a principal responsável para minha obtenção desse título.

**MUITO OBRIGADO!!!!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	8
MANEJO DO SOLO E CORRETIVOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	8
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 O Sistema de Plantio Direto no Cerrado .....	12
2.2 Adubação e Correção do Solo em Sistema de Plantio Direto.....	14
2.2.1 Cálcio, Magnésio e Enxofre.....	17
2.2.2 Legislação Brasileira sobre Corretivos de Acidez.....	21
2.3 A Cultura do Milho em Sistema de Plantio Direto .....	22
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	24
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO 2.....	34
CORRETIVO CALCINADO APLICADO EM DIFERENTES MANEJOS NA CULTURA DO MILHO.....	34
1 INTRODUÇÃO .....	36
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4 CONCLUSÕES .....	66
REFERÊNCIAS.....	67
CAPÍTULO 3.....	74
MANEJO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO CALCINADO ENRIQUECIDO COM ENXOFRE NA CULTURA DO MILHO, SOB COBERTURA VEGETAL .....	74
1 INTRODUÇÃO .....	76
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	78
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
4 CONCLUSÕES .....	102
REFERÊNCIAS.....	103

SIQUEIRA, THIAGO PRUDENTE. **Formas de aplicação de fontes de cálcio, magnésio e enxofre no cultivo do milho em condições controladas**. 2018. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Concentração em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2018.<sup>1</sup>

## RESUMO

A aplicação de corretivos em sistema plantio direto, muitas vezes não tem sido eficaz na correção da acidez do solo e no fornecimento de cálcio e magnésio às plantas, no entanto a nutrição mineral adequada das culturas, através da implementação de programas racionais de correção do solo e adubação, são indispensáveis para a sustentabilidade e o sucesso do sistema. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de duas fontes de corretivos, uma contendo 60% de CaO e 30% de MgO e outra 15,6% de enxofre elementar e 56,21% e 24,02% de CaO e MgO, na cultura do milho em dois tipos de solo com palhada, avaliando diferentes manejos de aplicação. O primeiro capítulo teve a finalidade de, a partir de uma revisão bibliográfica, discutir o manejo e a fertilização do solo em sistema plantio direto no Cerrado. Os capítulos seguintes consistiram de dois experimentos distintos (testes biológicos) em que foram avaliadas as fontes de corretivos, em dois solos com texturas diferentes e épocas distintas, sendo um arenoso e outro argiloso, classificados como Neossolo Quartzarênico órtico típico e Latossolo Vermelho distrófico típico, respectivamente, em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia. Foram utilizados vasos de 20 kg e a variedade de milho DKB390 VT PRO. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos consistiram de três doses (150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup>), em dois modos de aplicação: sob e sobre a palhada, com dois adicionais: sem utilização de palhada (controle 1) e com palhada (controle 2), ambos sem aplicação das fontes corretiva. Para a análise vegetal, foi utilizado um arranjo fatorial duplo com dois adicionais (3 x 2 + 2) e para a análise química do solo, foi realizado um arranjo fatorial triplo subdividido (3 x 2 x 5), onde foram avaliadas cinco profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm). Durante todo o experimento foi simulado uma chuva de 250 mm acumulado. Foram avaliados: diâmetro de colmo; altura de planta; massa de matéria seca de parte aérea; teores de cálcio, magnésio e enxofre foliares e parâmetros químicos do solo. Foram testadas as pressuposições estatísticas dos dados obtidos, os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey e teste de Dunnett, ambos a 0,05 de significância. Os dados significativos para o fator quantitativo (doses) foram submetidos à análise de regressão. A aplicação em solo arenoso do corretivo contendo 60% de CaO e 30% de MgO, em condições de casa de vegetação, altera a produção de massa de matéria seca da parte aérea, diâmetro do colmo e altura das plantas de milho, assim como a acidez ativa e potencial e os teores de cálcio, magnésio e alumínio no solo, para ambos os solos. Já a aplicação do corretivo contendo 15,6% de enxofre elementar e 56,21% e 24,02% de CaO e MgO, respectivamente, em condições de casa de vegetação, altera o teor de enxofre na parte aérea do milho cultivado em solo arenoso e o teor de magnésio na parte aérea do milho cultivado em solo argiloso. A aplicação do corretivo em ambos os solos altera a acidez ativa e potencial e os teores de cálcio, magnésio, enxofre e alumínio no solo. De maneira geral, a aplicação do corretivo sob a palha proporcionou resultados superiores, em detrimento da aplicação sobre esta.

**Palavras-chave:** cobertura vegetal; corretivo de acidez; fertilidade do solo; nutrição vegetal; palhada; *Zea mays*

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

SIQUEIRA, THIAGO PRUDENTE. **Forms of application of calcium, magnesium and sulphur sources in corn cultivation in controlled conditions.** 2018. 109 f. Dissertation (Master degree in Agriculture, Focus on Crop Sciences) – Institute of Agricultural Sciences, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2018.<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The application of correctives in a no-tillage system has often been ineffective in correcting soil acidity and in the supply of calcium and magnesium to the plants, but the adequate mineral nutrition of the crops, through the implementation of rational soil correction programs and fertilization, are indispensable for the sustainability and success of the system. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of two sources of correctives, one containing 60% CaO and 30% MgO and another 15.6% elemental sulfur and 56.21% CaO and 24.02% MgO, in the corn crop, in two types of soil with straw, evaluating different applications. The first chapter had the purpose of, from a bibliographical review, to discuss the management and the fertilization of the soil in no-tillage system in the Cerrado. The following chapters consisted of two distinct experiments (biological tests) in which the sources of correctives were evaluated in two soils with different textures and distinct eras, being a sandy and another clayey, classified as a Neossolo Quartzarênico órtico típico and Latossolo Vermelho distrófico típico, respectively, in a greenhouse belonging to the Universidade Federal de Uberlândia. 20 kg vases and the DKB390 VT PRO maize variety were used. The experimental design was completely randomized, with three replications. The treatments consisted of three doses (150, 300 and 450 kg ha<sup>-1</sup>), in two modes of application: under and over straw, with two additional ones: without straw (control 1) and straw (control 2) both without application of the corrective sources. For the vegetal analysis, a double factorial arrangement with two additional (3 x 2 + 2) was used and for the chemical analysis of the soil, a triple subdivide factorial arrangement (3 x 2 x 5) was carried out, where five depths were evaluated (0-2, 2-4, 4-6, 6-8 and 8-12 cm). During the whole experiment a cumulative 250 mm rain was simulated. The following were evaluated: stem diameter; plant height; mass of shoot dry matter; calcium, magnesium and foliar sulfur contents and soil chemical parameters. The statistical assumptions of the obtained data were tested, which were submitted to analysis of variance by Tukey test and Dunnett test, both 0.05 of significance. Significant data for the quantitative factor (doses) were submitted to regression analysis. The application in sandy soil of the corrector containing 60% CaO and 30% MgO, under greenhouse conditions, changes the shoot dry matter mass, stem diameter and height of maize plants, as well as the active and potential acidity and the calcium, magnesium and aluminum contents in the soil, for both soils. The corrective application of 15.6% elemental sulfur and 56.21% and 24.02% CaO and MgO, respectively, under greenhouse conditions, changes the sulfur content in the aerial part of the corn grown in sandy soil and the magnesium content in the aerial part of maize grown in clay soil. The application of the corrective in both soils changes the active and potential acidity and the levels of calcium, magnesium, sulfur and aluminum in the soil. In general, the application of the corrective under the straw provided superior results, to the detriment of the application on the latter.

**Keywords:** Plant cover; correction of acidity; soil fertility; plant nutrition; straw; *Zea mays*

---

<sup>1</sup>Supervisor: Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira



## CAPÍTULO 1

### MANEJO DO SOLO E CORRETIVOS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

**RESUMO:** O sistema de plantio direto é consistindo em uma forma de manejo conservacionista que envolve um conjunto de técnicas integradas que visam a otimização da expressão do potencial genético de produção das culturas. Atualmente estima-se mais de 32 milhões de hectares cultivados nesse sistema no Brasil. Sua expansão em todo território nacional tem gerado intenso questionamento na área de solos, principalmente quanto aos processos básicos de transformação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, manejo da acidez, modo de aplicação de nutrientes e o desenvolvimento radicular das culturas. Assim, há a necessidade da implantação de um sistema que seja sustentável, o qual aliado à práticas racionais de correção do solo e adubação, resultem no uso eficiente de nutrientes e na sustentabilidade do sistema, visto o elevado custo de fertilizantes na produção de grãos, garantindo a sustentabilidade do setor. Neste contexto, a cultura do milho apresenta inúmeras vantagens nesse sistema, como produção de grande quantidade de restos culturais com alta relação C/N, sendo, desta forma, fundamental em programas de rotação de culturas em sistema de plantio direto. No entanto o Brasil possui extensa área de solos ácidos, por estar situado em região tropical e subtropical, não sendo naturalmente adequados para o cultivo de culturas tropicais. Assim, torna-se necessário atenuar ou eliminar os efeitos negativos da acidez do solo, por meio da aplicação de corretivos, que têm por objetivo corrigir a acidez do solo, diminuindo ou anulando os efeitos tóxicos do alumínio trocável, além de fornecer nutrientes, como cálcio, magnésio e enxofre, sendo um dos pilares para a obtenção de maiores e melhores produções agrícolas.

**Palavras-chave:** acidez do solo; cobertura vegetal; corretivo de acidez; fertilidade do solo; macronutrientes; palhada; *Zea mays*

## SOIL MANAGEMENT AND FERTILIZATION IN NO-TILLAGE SYSTEM

**ABSTRACT:** The no-tillage system consists of a form of conservation management that involves a set of integrated techniques aimed at optimizing the expression of the genetic potential of crop production. It is currently estimated that more than 32 million hectares are cultivated in this system in Brazil. Its expansion throughout the national territory has generated intense questioning in the area of soils, mainly regarding the basic processes of organic matter transformation, nutrient cycling, acidity management, nutrient application and root development of crops. Thus, there is a need to implement a system that is sustainable, which together with rational practices of soil correction and fertilization, result in the efficient use of nutrients and in the sustainability of the system, given the high cost of fertilizers in grain production, ensuring the sustainability of the sector. In this context, the corn crop has many advantages in this system, such as the production of a large quantity of cultural remains with high C/N ratio, being, therefore, fundamental in crop rotation programs under no-tillage system. However, Brazil has an extensive area of acid soils, because it is located in a tropical and subtropical region, and is not naturally suitable for growing tropical crops. Thus, it is necessary to mitigate or eliminate the negative effects of soil acidity through the application of correctives, which aim to correct the soil acidity, reducing or canceling the toxic effects of exchangeable aluminum, as well as providing nutrients, such as calcium, magnesium and sulfur, being one of the pillars for obtaining bigger and better agricultural productions.

**Keywords:** soil acidity; plant cover; correction of acidity; soil fertility; macronutrients; straw; *Zea mays*

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sistema de plantio direto (SPD) é, sem dúvida, um sistema de manejo conservacionista, que procura reproduzir o que a natureza vem fazendo há milhões de anos. Segundo Altmann (2010), os principais pilares naturais que garantem a sustentabilidade do SPD são: o não revolvimento do solo, cobertura permanente do solo e rotação de culturas.

Os primeiros estudos científicos sobre o SPD começaram na década de 40, na estação experimental de Rothamsted, na Inglaterra, ao se constatar que as plantas tinham condições de crescerem de forma adequada sem o preparo convencional do solo (KORONKA, 1973). À partir daí, os primeiros relatos sobre o SPD surgiram nos EUA, em função das tempestades de poeira, procurando razões científicas para justificar a utilização de aragem do solo (BAKER et al., 1996). Assim, as pesquisas sobre técnicas de SPD nos EUA foram iniciadas na década de 50 e, a partir do início da década de 60 até 1965, sua utilização passou a ser testada na cultura do milho pelos agricultores americanos (CORRÊA, 1980).

Segundo Bernardi et al. (2003), o sistema de preparo convencional do solo com a utilização de arados, grades e subsoladores, é o responsável pela degradação acelerada do solo e consequente perda deste e também de água e nutrientes por erosão hídrica e eólica, causando a destruição de agregados do solo. Se executado na estação das chuvas, deixa a superfície do solo exposta, sem nenhuma cobertura vegetal ou restos de plantas, tendo como resultado encrostamento na superfície do solo, pelo impacto direto da gota de chuva, causando diminuição da infiltração de água e consequente formação de enxurradas (FREITAS, 1994).

Com efeito de acordo com Vieira (1994), experiências no sul do Brasil demonstraram que a utilização de práticas mecânicas (terraços, cordões vegetados ou de pedras etc.), como única forma de controle da erosão, sem proteção da superfície do solo não são suficientes para o controle efetivo da erosão hídrica do solo. Dessa forma, as severas perdas econômicas e ambientais causadas pela erosão motivaram forte movimento em favor da adoção do SPD (FREITAS, 2002).

No Brasil, o SPD foi iniciado da década de 70, na região Sul. O objetivo principal era reduzir a erosão do solo e minimizar impactos ambientais provenientes do sistema de cultivo convencional, pois o binômio trigo-soja, com uso de fogo para

eliminar os restos culturais e semear a soja provocava grandes estragos. Essa prática, aliada a arações e gradagens, aumentava os problemas de erosão, de infiltração e do escoamento superficial das águas, com a consequente perda de nutrientes do solo e queda da produtividade agrícola (SILVA et al., 2009).

Após a fase de adaptação e estudo do novo sistema, a adoção pelos produtores, nos Estados do Sul do Brasil, deu-se com muito êxito, pois, além do controle da erosão, havia grande racionalização de insumos, mão-de-obra, mecanização e energia. A semeadura direta na palha, no terceiro ano após a implantação, já demonstrava ser uma das mais promissoras tecnologias, com a introdução das práticas de cobertura de solo no inverno e a rotação de culturas (ANGHINONI, 2007).

Atualmente estima-se mais de 32 milhões de hectares cultivados em SPD no Brasil (FEBRAPDP, 2017). A sua expansão em todo território nacional tem gerado intenso questionamento na área de solos, principalmente quanto aos processos básicos de transformação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, manejo da acidez, modo de aplicação de nutrientes e o desenvolvimento radicular das culturas (SÁ et al., 2009).

No Cerrado, a introdução do cultivo de grãos ocorreu com utilização de sistemas com intensivo preparo do solo e predomínio do monocultivo da soja. Assim, problemas decorrentes deste tipo de manejo foram inevitáveis, como erosão, redução nos teores de matéria orgânica e baixa eficiência de utilização dos fertilizantes pelas plantas, especialmente nos solos mais arenosos. Por isso, houve necessidade da implantação de um sistema sustentável, que, aliado à práticas racionais de correção do solo e adubação, resultassem no uso eficiente de nutrientes e na sustentabilidade do sistema, visto ainda, o elevado custo de fertilizantes na produção de grãos, garantindo a sustentabilidade do setor.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O Sistema de Plantio Direto no Cerrado**

O SPD é uma forma de manejo conservacionista que envolve um conjunto de técnicas integradas que visam a otimização da expressão do potencial genético de produção das culturas. O SPD está fundamentado em três requisitos mínimos: revolvimento do solo restrito à cova ou sulco de plantio, a biodiversidade pela rotação de culturas e a cobertura permanente do solo com culturas específicas para formação de palhada (COSTA et al., 2006). Para Bernardi et al. (2003), o SPD é o procedimento mais adequado para o uso agrícola dos solos dos Cerrados e este sistema contribui simultaneamente para a segurança alimentar e a implementação de benefícios ambientais, tanto em pequenas propriedades familiares como em grandes conglomerados agrossilvipastoris.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2017), as vantagens da adoção dessa técnica são a redução no uso de insumos químicos e o controle dos processos erosivos, uma vez que a infiltração de água se torna mais lenta pela permanente cobertura no solo, sendo o Brasil líder mundial no uso desse método de cultivo. Ainda, segundo Motter; Almeida (2015), o SPD contribui para que a camada fértil do solo não seja levada pelas erosões e armazene mais nutrientes, fertilizantes e corretivos, além da concentração da matéria orgânica aumentar, de 1% para valores superiores a 3%.

A maioria dos solos brasileiros apresentam limitações ao estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas de produção de grande parte das culturas, em decorrência dos efeitos da acidez (SOUSA et al., 2007). O Brasil possui extensa área de solos ácidos por estar situado em região tropical e subtropical, não sendo naturalmente adequados para o cultivo de culturas tropicais. De acordo com Motta; Melo (2009), a gênese, a mineralogia, as ciclagens de nutrientes e o acúmulo de resíduos orgânicos são os principais fatores que tornam esses solos ácidos.

Além disso de acordo com Sousa et al. (2007), a maioria dos solos brasileiros apresentam limitações ao estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas de produção de grande parte das culturas, em decorrência dos efeitos da acidez, podendo estar, de modo geral, associada à presença de alumínio (Al) e manganês (Mn) em concentrações tóxicas e de baixos teores de cátions de caráter básico, como cálcio (Ca) e magnésio

(Mg). Essa acidez, quando em excesso, pode ocasionar alterações na química e fertilidade do solo, restringindo o crescimento das plantas, com restrições que ocorrem na camada mais explorada pelas raízes, nos 20 cm superficiais do solo e, também, em maior profundidade, reduzindo o crescimento radicular nessas camadas e limitando a absorção de água e nutrientes, comprometendo sua produtividade.

Nas regiões do bioma Cerrado, o SPD iniciou-se em 1981, com uma área de 200 hectares de soja em palha de soja, em Rio Verde, no Estado de Goiás (ALMEIDA, 2004). A partir daí, histórias bem sucedidas com o sistema no Cerrado brasileiro foram surgindo, tendo diversos erros e acertos e que serviram de exemplo para a adesão de inúmeros produtores nas décadas seguintes (ALTMANN, 2010).

No entanto os solos do Cerrado apresentam propriedades químicas inadequadas, como elevada acidez, altos teores de Al trocável e deficiência generalizada de nutrientes, principalmente de P, Ca e Mg. Essa acidez é influenciada pela pequena quantidade de bases nos materiais de origem e pela capacidade de troca de cátions (CTC) no solo. Se, em sua menor parte, ele for ocupado por cátions básicos, a substituição destes por Al trocável e prótons representa a acidificação do solo (CONCEIÇÃO; JARDIM, 2011). Com efeito os solos de Cerrado apresentam, em condições naturais, saturação por Al tóxico superior a 10% em 84% da área com potencial agrícola (SOUZA et al., 2003). Além da acidez excessiva, estes solos também são pobres em nutrientes essenciais.

Assim, torna-se necessário atenuar ou eliminar os efeitos negativos da acidez do solo por meio da aplicação de corretivos, que têm por objetivo corrigir a acidez do solo, diminuindo ou anulando os efeitos tóxicos das altas concentrações de Al, além de fornecer nutrientes, como Ca, Mg e S, sendo um dos pilares para a obtenção de maiores e melhores produções agrícolas (SOUZA et al., 2007).

Contudo segundo Altmann (2012) é recomendável evitar a elevação da saturação por bases acima de 60%, pois valores de pH em água superiores a 6,0 no solo de Cerrado inibem a atividade de fungos benéficos e favorecem a proliferação de nematoides, especialmente o nematoide de cisto, *Heterodera glycines*.

Dessa forma, apesar da busca de maior sustentabilidade, alguns percalços prejudicaram a evolução do sistema, dentre os quais, a falta de correção prévia dos fatores limitantes e a falta de um perfil adequado de fertilidade do solo. Além disso, a calagem superficial, realizada com quantidades muito altas de calcário, aliada à baixa produção anual de palha, contribuiu para o agravamento do desequilíbrio nutricional,

aumentando excessivamente a saturação por bases em superfície e provocando reflexos na disponibilidade e interação entre macro e micronutrientes e na sanidade do sistema solo-água-planta (ALTMANN, 2012).

Segundo Kluthcouski et al. (2000), embora o SPD tenha sido amplamente adotado por agricultores do Cerrado brasileiro, seu uso contínuo em regiões tropicais, com insuficiência de cobertura do solo e sucessivas adubações superficiais, podem resultar em alterações nos parâmetros do solo, como compactação e acúmulo de nutrientes na superfície, resultando na baixa expressão do potencial produtivo das culturas.

Ainda de acordo com Amaral et al. (2004), o uso deste sistema pode também ter desvantagens como aumento da densidade do solo na superfície, diminuição do volume de macroporos e da rugosidade superficial, mas isso não prejudica a infiltração da água no solo, a erosão hídrica e desenvolvimento de raízes das plantas.

As vantagens do SPD são inúmeras e estão relacionadas com a manutenção de atributos químicos e estruturais do solo, com o maior controle da erosão e a economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo e o uso deste sistema por um longo período promovem melhorias nestas características do solo e a ciclagem de nutrientes (CAIRES et al., 2003).

Assim, apesar dos solos dos Cerrados serem ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions e retenção de umidade, apresentando deficiência generalizada de nutrientes, os aspectos positivos são a facilidade de mecanização, correção e construção da fertilidade, possibilidade de irrigação, elevada profundidade, friabilidade, porosidade e boa drenagem interna dos solos, fazendo com que a região dos Cerrados seja considerada dentre aquelas de maior potencial agrícola do país (KER et al., 1992).

## **2.2 Adubação e Correção do Solo em Sistema de Plantio Direto**

Do ponto de vista da fertilidade do solo, diversos trabalhos enfocam o efeito da mineralização dos resíduos culturais no acúmulo de nutrientes na camada superficial, melhorando a fertilidade e influenciando as culturas em rotação (MUZILLI, 1985; SIDIRAS; PAVAN, 1985; SÁ, 1999; TORRES et al., 2005; TORRES; PEREIRA, 2008; BOER et al., 2008; LEITE et al., 2010; PACHECO et al., 2011; SORATTO et al., 2012; COSTA et al., 2014; BORGES et al., 2014; COSTA et al., 2015).

A partir da consolidação do SPD, a recomendação da adubação (baseada na análise do solo), passa a considerar o sistema, e não as culturas de forma individual. Por fim, o manejo da fertilidade passa a conjugar a utilização de adubos químicos com o poder de reciclagem biológica de culturas de cobertura e da rotação (SOUZA; LOBATO, 2002). Além disso, os processos de acidificação do solo (intemperismo ácido) liberam cátions e ânions para a solução. Um sistema eficiente incorpora os íons liberados no ciclo biológico, mas em um sistema ineficiente, os íons podem ser perdidos por lixiviação, deste modo diminuindo a fertilidade do solo (RATKE, 2011).

Embora o SPD seja adotado pela ampla maioria dos produtores do sistema de produção de grãos, especialmente nas médias e grandes propriedades e em algumas pequenas propriedades, a recuperação nos teores médios de matéria orgânica tem se mostrada lenta (MIELNICZUK et al., 2000). Isso ocorre porque o manejo do sistema não é feito de modo adequado, não seguindo as recomendações básicas do SPD, quer pela falta de planejamento paisagístico-ambiental, quer pela não adoção de práticas simples como em sistema de rotação de culturas e correção da acidez em profundidade.

Assim, um ponto importante a se destacar em relação às reações dos resíduos vegetais, de acordo com Lopes et al. (2004) é que sua natureza anfótera faz com que ocorra um aumento do pH de solos ácidos e uma redução do pH de solos alcalinos. O pH tende a valores entre 4,5 a 7,0, dependendo do balanço entre grupamentos carboxílicos e fenólicos presentes nos resíduos. Ainda, segundo esses autores, esses efeitos dos resíduos vegetais na dinâmica da matéria orgânica, na elevação do pH e na diminuição da toxidez de alumínio no SPD podem ter implicações na definição da dose de calcário à medida que aumenta o tempo de implantação do SPD. Sob certas situações, o SPD pode, entretanto, resultar no inverso, ou seja, em decréscimo do pH. Isso ocorre, principalmente, pela aplicação de doses elevadas de fertilizantes nitrogenados na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e amídica ( $\text{NH}_2$ ) geralmente associada a alta taxa de absorção e exportação de bases (FREIRE et al., 2000).

Antes de iniciar o SPD, a acidez superficial (0 a 20 cm) e a subsuperficial (20 a 60 cm) devem estar corrigidas, para possibilitar o maior desenvolvimento radicular, aumentando a absorção dos nutrientes e da água pelas culturas (SOUZA, 1998). Não obstante uma das grandes dificuldades no SPD é a calagem para a correção do pH do solo, devido ao fato do calcário aplicado ser pouco móvel quando aplicado na superfície, limitando o efeito da neutralização da acidez abaixo da superfície (PAVAN et al., 1985; CHAVES et al., 1988; SILVA et al., 2009), sendo este fator limitante em



SPD, em que o calcário é aplicado na superfície do solo em dose mais alta sem incorporação posterior. No entanto, embora ainda seja contraditória para vários autores, a aplicação superficial de corretivos tem apresentado resultados significativos (FERREIRA et al., 2007).

A ação do calcário na neutralização da acidez de subsuperfícies é dificultada pela baixa solubilidade dos corretivos pela reação do ânion, sendo responsável pela correção da acidez com outros cátions ácidos ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ ) na camada de deposição do calcário. No entanto o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o  $\text{HCO}_3^-$ , acompanhado por Ca e Mg, movimenta-se no solo para reagir com a acidez (CAIRES et al., 2003).

Dessa forma, com o processo de calagem, o pH é elevado ao valor exigido à cultura em que se deseja empregar, o  $\text{Al}^{3+}$  é precipitado e os teores de Ca e Mg são elevados para valores moderados. Para saber se há necessidade de calagem, é feita a determinação do teor de alumínio trocável (acidez trocável) e dos teores de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  (acidez potencial) através de análises químicas dos solos (CONCEIÇÃO; JARDIM, 2011).

De acordo com Altmann (2010), para evitar perdas de nutrientes por lixiviação ou por escoamento superficial é preciso levar em consideração os níveis pré-existentes de nutrientes, determinados através da análise do solo, os níveis de adubação e de exportação da cultura anterior e a demanda da próxima cultura, além das eventuais perdas, especialmente de nutrientes lixiviáveis ou voláteis. Em solos arenosos, de baixa CTC, os nutrientes devem ser preferencialmente aplicados visando à cultura específica, e não o sistema de produção.

Dessa forma, os diferentes aspectos do manejo da fertilidade do solo, considerando as fases de adoção, implantação e consolidação do SPD, permitem ao produtor rural da região dos Cerrados atingir altos níveis de eficiência e de produtividade de maneira competitiva e sustentável, com inúmeros e significativos benefícios ambientais e econômicos (BERNARDI et al., 2003).

Atualmente, utiliza-se o balanço nutricional georreferenciado para a adubação de sistemas integrados, que consiste na coleta de informações e imagens para a formação das zonas homogêneas de manejo, que direcionam as recomendações de forma adequada ao histórico da área ao longo dos anos e ao tipo de solo. Esses patamares de fertilidade diferem dos níveis críticos por levarem em consideração as relações ideais

entre os nutrientes em cada condição de solo. Ou seja, cada tipo e textura do solo tem uma condição ideal de balanço nutricional (ALTMANN, 2012).

### **2.2.1 Cálcio, Magnésio e Enxofre**

Os macronutrientes Ca, Mg e S são elementos essenciais para o crescimento e produção das culturas e embora sejam considerados elementos secundários por diversos pesquisadores, são reconhecidamente tão importantes para a planta quanto qualquer um dos demais elementos essenciais para as plantas.

O Ca e o Mg são absorvidos em quantidades variadas pelas diferentes culturas. Segundo Raij (1991), para o suprimento de Ca são necessárias doses de 10 a 200 kg ha<sup>-1</sup>, e entre 10 a 40 kg ha<sup>-1</sup> para o Mg, valores que atendem as necessidades da maioria das culturas. Ainda, de acordo com Dechen (1983), os teores desses nutrientes nas folhas variam de 4 a 40 g kg<sup>-1</sup> para o Ca e de 2 a 4 g kg<sup>-1</sup> para o Mg.

A planta absorve o Ca na forma iônica Ca<sup>2+</sup> da solução do solo. Os mecanismos de acesso ao nutriente e de transporte são, predominantemente, interceptação radicular e fluxo de massa, sendo um nutriente relativamente imóvel, não se redistribuindo com facilidade na planta, tendo função estrutural, sendo integrante da parede celular e sua deficiência afeta, principalmente, o crescimento das raízes (SOUSA et al., 2007).

Os sintomas de deficiência de Ca são caracterizados pela clorose internerval nas folhas e morte das gemas apicais, com deformações nas pontas e na base das folhas. A deficiência de Ca não é comum em condições de campo, assumindo maior importância para o crescimento de raízes nas camadas mais profundas do solo. Esse aspecto é muito importante para a região do Cerrado (RITCHEY et al., 1980), em que, de acordo com Cochrane; Azevedo (1988), 77 % dos solos apresentaram teores inferiores a 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>, na camada de 20-50 cm no perfil. As principais fontes deste elemento para o solo são os minerais das rochas sedimentares, eruptivas e metamórficas (BOYER, 1978).

Segundo Malavolta (2006), os carbonatos se solubilizam parcialmente sob ação de CO<sub>2</sub> contido nas águas de percolação. No caso dos minerais que contém Ca, Mg e ferro (Fe), como piroxênios e anfibólios, o Fe da estrutura cristalina se oxida e a rede se rompe liberando Ca e Mg que passam a fazer parte do solo. Assim, como o solo é proveniente da rocha mãe, é esperado que se o material de origem tem maior teor destes

elementos, então o solo oriundo deste também terá maiores teores desses elementos básicos.

Ainda, de acordo com Kononova (1975), a quantidade de Ca na matéria orgânica, decorrente do processo de mineralização, também varia em função do material de origem da mesma, das condições de clima e das práticas culturais e pode ocorrer como quelados, complexos ou simplesmente adsorvido.

O Ca é o cátion predominante no complexo de troca, exceto em solos extremamente ácidos, onde cede lugar para o Al. A saturação ideal por bases seria de 65% de Ca, 10% de Mg e 5% de K, sendo que o grau de saturação por Ca necessário para fornecê-lo em quantidade suficiente para a planta depende da natureza do complexo coloidal. Dessa forma, em solos altamente intemperizados bastariam entre 25 a 30%, sendo que nos solos em geral, o teor de Ca total é relativamente baixo e cerca de 1%, exceto quando há ocorrência de carbonato ou sulfato. Ainda, rochas ígneas e sedimentos tem em média 5 vezes mais, o que significa lixiviação, comum em climas tropicais e subtropicais, exceto áridos e semiáridos (MALAVOLTA, 2006).

O Mg é absorvido pela planta na forma iônica  $Mg^{2+}$  da solução do solo e acessado pelas raízes principalmente pelos mecanismos de interceptação radicular e fluxo de massa. Sua absorção está associada, também, as suas relações de equilíbrio com Ca e K na solução do solo (SOUSA et al., 2007).

Dentre as funções de importância do Mg, uma das principais é sua participação na composição da clorofila, correspondendo a 2,7% de seu peso molecular, sendo, ainda, ativador de grande número de enzimas. Assim, os sintomas de deficiência de Mg caracterizam-se pela presença de manchas ou cloroses internervais das folhas com ou sem partes necrosadas e devido à sua boa mobilidade na planta os sintomas de deficiência aparecem, geralmente, nas folhas mais velhas (TAIZ; ZEIGER, 2013). A deficiência de Mg ocorre, com certa frequência, na região dos Cerrados, onde 85% da área apresenta teores de  $Mg^{2+}$  inferiores a  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (NOVAIS et al., 2007).

Devido ao potencial de lixiviação do Mg em solos altamente intemperizados e à sua interação com Al, a deficiência de Mg é uma preocupação crucial em solos ácidos. É importante salientar que um dos mecanismos de adaptação das plantas a solos ácidos é a liberação de ânions de ácidos orgânicos nas raízes, que, por sua vez, formam quelatos com os íons tóxicos de Al, formando complexos Al-ácido orgânico que não são fitotóxicos. O Mg é de extrema importância para a liberação efetiva de ânions de ácidos orgânicos nas raízes, modificando a rizosfera intoxicada com Al (YANG et al., 2007).

Segundo Silva et al. (2001), assim como o Mg, o Ca também é importante na diminuição da toxidez de Al em solos ácidos, entretanto, o Mg pode ter ação protetora contra a toxicidade de Al quando adicionado em níveis micromolares, enquanto o Ca exerce seu papel protetor em concentrações milimolares. Esse resultado indica que o Mg tem benefícios muito específicos na proteção da planta contra a toxicidade de Al (CAKMAK; YAZICI, 2010).

Nos solos, o enxofre (S) se encontra nas formas orgânica e inorgânica, sendo essa última a predominante, podendo representar mais de 90% do total (NASCIMENTO; MORELLI, 1980). As reservas de S orgânico nos solos sem a interferência do homem dependem basicamente dos teores e tipos de argilominerais e óxidos e das condições ambientais que aceleram ou retardam a atividade biológica. Aproximadamente 50% da área total dos solos tropicais e subtropicais da América podem ser considerados deficientes em S.

De acordo com Costa (1980), a disponibilidade de S orgânico para as plantas depende de sua transformação a formas inorgânicas, quase que exclusivamente na forma de sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), o qual é retido pelos grupos funcionais dos coloides inorgânicos do solo. Assim, a quantidade de  $\text{SO}_4^{-2}$  disponível às plantas depende da quantidade de grupos funcionais com capacidade de adsorvê-lo.

Dessa forma, tanto os solos que apresentam baixos teores de argila, especialmente baixos teores de óxidos, como aqueles com baixos teores de matéria orgânica, podem apresentar baixa disponibilidade de S e por consequência limitar a produtividade das culturas. Aliado a isso, a realização da calagem e da adubação com fosfatos solúveis na camada superficial facilita a migração do  $\text{SO}_4^{-2}$  para as camadas subsuperficiais, que por limitações físicas e químicas pode não ser acessado pelo sistema radicular (RHEINHEIMER et al., 2005).

Embora o  $\text{SO}_4^{-2}$  da solução do solo e o que para ela passa do complexo de troca por dessorção seja a forma predominantemente absorvida, a planta é capaz de absorver outras também. Dessa forma, as folhas, além do  $\text{SO}_4^{-2}$  absorvem também o  $\text{SO}_2$  do ar, ainda que de modo pouco eficiente (MALAVOLTA, 2006). O contato do sulfato com a raiz é feito predominantemente por fluxo de massa com absorção ativa.

A deficiência de S nas plantas gera plantas definhadas, com um amarelecimento geral das folhas e como o S é imóvel no interior da planta os sintomas de amarelecimento normalmente surgem primeiro nas folhas mais jovens e, em situações menos severas, os sintomas visuais podem não ser percebidos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Nos solos do Cerrado, assim como nos solos não adubados de regiões úmidas do Brasil, mais de 90% do S está na forma orgânica. A preocupação de avaliar a capacidade do solo em suprir as necessidades de S das culturas tem aumentado nas últimas décadas, devido à constatação de deficiência deste nutriente, principalmente em regiões de clima tropical (KAPPES et al., 2013).

Dentre as condições geoquímicas da solução, o pH do solo é uma das mais importantes na adsorção de  $\text{SO}_4^{-2}$ . Conforme o pH do solo aumenta, diminui a adsorção de  $\text{SO}_4^{-2}$  pelos coloides, devido à diminuição da quantidade de cargas superficiais positivas e à desprotonação dos grupos hidroxilas (KAMPRATH et al., 1956; ELKINS; ENSMINGER, 1971). Desta forma, a prática da calagem proporciona diminuição na adsorção de  $\text{SO}_4^{-2}$ , aumentando a disponibilidade deste íon na solução do solo (MEHLICH, 1964).

Solos argilosos e com teores elevados de óxidos de Fe apresentam alta capacidade de retenção de  $\text{SO}_4^{-2}$ , tornando a sua movimentação no perfil mais lenta, comparativamente a solos com menor quantidade desses grupos funcionais. Em solos arenosos ou poucos intemperizados, o  $\text{SO}_4^{-2}$  tende a deslocar-se mais rapidamente para os horizontes subsuperficiais, ou mesmo, sair do sistema solo por lixiviação. Assim, geralmente são encontrados teores mais elevados de  $\text{SO}_4^{-2}$  nos horizontes subsuperficiais, com maior quantidade de coloides inorgânicos, em relação à superfície (BASSO et al., 2015).

Essa diferença é maior quando o solo recebe aplicação de calcário. Práticas de fertilização associadas à presença de matéria orgânica, promovem a dessorção e movimentação do  $\text{SO}_4^{-2}$ , que passa a se acumular na subsuperfície. Nos solos mais arenosos e permeáveis, a calagem pode resultar em maior fluxo desse nutriente para as camadas mais profundas, inacessíveis às raízes das plantas e no agravamento dos sintomas de deficiência de S (CAIRES; FONSECA, 2000).

De acordo com Osorio Filho (2006), em SPD, a transformação de áreas de campos nativos para sistemas de produção de grãos é geralmente acompanhada de aplicações de calcário sem incorporação. No entanto o calcário, cuja mobilidade é baixa, promove a dessorção dos nutrientes aniônicos, entre eles o S, na camada superficial. De imediato, ocorre o aumento da disponibilidade destes elementos para as plantas. Porém a infiltração de água promove a movimentação destes elementos para as camadas subsuperficiais, reduzindo, portanto, a disponibilidade na camada superficial com o tempo.

Dessa forma para alcançarem esta região de acúmulo de nutrientes, as raízes precisam crescer sem impedimentos físicos ou químicos. Se o solo apresenta teores elevados de alumínio, a calagem superficial não irá neutralizar este elemento tóxico na subsuperfície, e as raízes não alcançarão os nutrientes oriundos da superfície. Com a concentração das raízes na superfície do solo, ao longo dos cultivos, poderão surgir problemas de deficiências nutricionais.

Ainda, a aplicação de calcário leva ao acúmulo por tempo indefinido de Ca e Mg na superfície, em função da incorporação maior ou menor. Esse acúmulo, que pode corresponder a uma sobrecalagem, é particularmente evidente no SPD onde a incorporação não é feita. Dependendo da dose, do grau de moagem, e quantidade aplicada, da textura do solo e das chuvas o calcário desce mais ou menos no solo e com ele, o Ca e o Mg. Todavia, com a aplicação de corretivos, o movimento do Ca perfil abaixo depende do ânion acompanhante como o  $\text{SO}_4^{-2}$ , deslocando o Al do complexo de troca, cuja saturação diminui, permitindo maior desenvolvimento das raiz graças ao melhoramento do ambiente na subsuperfície (RITCHEY et al., 1983).

### **2.2.2 Legislação Brasileira sobre Corretivos de Acidez**

A legislação vigente é a da Instrução Normativa Nº 35, de 4 de julho de 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2006), que revoga a Instrução Normativa Nº 4 de 02/08/2004, e aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo destinados à agricultura, na forma do Anexo a esta Instrução Normativa. Nela o Ministério da Agricultura estabelece quatro faixas de PRNT para efeito de classificação e comercialização de calcário: Faixa A: com o PRNT entre 45,0 e 60,0% ; Faixa B: com o PRNT entre 60,1 e 75,0%; Faixa C: com o PRNT entre 75,1 a 90%; Faixa D: com o PRNT maior que 90,0%.

Segundo a legislação, os corretivos de acidez, alcalinidade e sodicidade deverão ser produtos em pó, constituídos de partículas que deverão passar 100% em peneiras de 2 mm (ABNT nº 10), no mínimo 70% em peneira de 0,84 mm (ABNT nº 20) e no mínimo 50% na peneira de 0,3 mm (ABNT nº 50). Para serem considerados produtos “ultrafino” ou “filler”, deverão ser constituídos de partículas que deverão passar 100% na peneira de 0,3 mm (ABNT nº 50).

A legislação brasileira atual prevê quatro taxas de reatividade das frações granulométricas dos materiais calcários, onde a reatividade do corretivo é calculada, considerando 0%, 20%, 60% e 100% de reatividade das partículas retidas nas peneiras ABNT nº 10, ABNT nº 20 e ABNT nº 50 e as que passaram por esta última peneira, respectivamente, representando as granulometrias de calcário maior que 2,00 mm, de 2,00 mm a 0,84 mm, de 0,84 mm a 0,30 mm e menor que 0,30 mm, respectivamente.

### **2.3 A Cultura do Milho em Sistema de Plantio Direto**

A cultura do milho (*Zea mays* L.) constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo por apresentar considerado potencial produtivo, composição química, valor nutricional e outros múltiplos usos, assume relevante papel socioeconômico (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

A planta de milho desenvolve-se bem em solos de textura argilosa até arenosa desde que apresentem estrutura granular fina e bem desenvolvida, sejam soltos ou friáveis e com boa permeabilidade à água e ar, pois apesar de consumir relativamente pouca água por matéria produzida, a planta não suporta bem períodos de estiagem e encharcamento, mesmo que temporário (CASTRO et al., 2008).

De acordo com Coelho; França (2009), a cultura do milho apresenta grandes diferenças no uso de fertilizantes entre as várias regiões do país. Além disso, Paiva (2011) enfatiza que, na cultura do milho, a elevação dos preços dos insumos básicos (sementes, adubos, corretivos e etc.) e a queda da produtividade das culturas decorrentes do uso inadequado do solo, evidenciam a necessidade de buscar alternativas tecnológicas que, sem onerar o produtor, tornem possível o aumento da fertilidade do solo e o melhor aproveitamento dos recursos naturais.

Uma das técnicas capazes de possibilitar economia e retenção de fertilizantes, proteção do solo contra insolação excessiva e evaporação rápida da água, com reciclagem de nutrientes é através da manutenção de resíduos (palhada) de culturas anteriores na cobertura do solo (PAIVA, 2011). Assim, o uso combinado de adubos minerais e palhada constitui uma prática de manejo em que se procura preservar a qualidade ambiental sem, no entanto, prejudicar a produtividade das culturas (ARF et al., 1999).

A cultura do milho por sua versatilidade, adapta-se a diferentes sistemas de produção e, devido à grande produção de fitomassa com alta relação C/N, esta cultura é

fundamental em programas de rotação de culturas em SPD, visto que a rotação de culturas é a base de sustentação do SPD e, nesse aspecto, a rotação de verão, principalmente entre as culturas de milho e soja, tem posição de destaque. Além do aumento de suas produtividades essa rotação facilita o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, além de propiciar melhor aproveitamento de nutrientes.

Com efeito, para Cruz et al. (2006) em termos de modernização da agricultura brasileira, a utilização de SPD é uma realidade inquestionável e a participação da cultura do milho em sistemas de rotação e sucessão (safrinha) de culturas para assegurar a sustentabilidade do SPD é, desta forma, fundamental. A área plantada nesse sistema tem aumentado rapidamente no Brasil nos últimos anos. Por sua vez, a cultura do milho tem a vantagem de deixar grande quantidade de restos culturais que, uma vez bem manejados, podem contribuir para reduzir a erosão e melhorar o solo. Dessa forma, sua inclusão em esquema de rotação é fundamental.

Diversos estudos evidenciam a melhoria no cultivo de milho em SPD, dentre eles o de Possamai et al. (2001), que relatam que o SPD proporciona menor número de dias para florescimento, maiores populações de plantas, diâmetros de colmo, altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga, números de espigas por hectare, índice de espigas e maior produtividade de milho. Já Fernandes et al. (1999) relatam que o SPD proporciona maior produção de grãos e de palhada de milho em relação ao sistema convencional com arado de disco e convencional com arado de aiveca.

Além disso, Cruz et al. (2006) observa que, no que diz respeito ao milho safrinha, a implantação no final do período chuvoso, deixa o agricultor na expectativa de ocorrência de déficit hídrico durante o ciclo da cultura. Assim, toda estratégia de manejo do solo deve levar em consideração maior quantidade de água disponível para as plantas. Nesse caso, sempre que possível, deve-se optar pelo SPD, pois oferece maior rapidez nas operações, principalmente no plantio realizado simultaneamente à colheita, permitindo o plantio mais cedo. Também, o SPD, com adequada cobertura da superfície do solo, permitirá o aumento da infiltração da água no solo e a redução da evaporação com consequente aumento no teor de água disponível para plantas.



### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A implantação do SPD apresenta resultados insatisfatórios e insustentáveis em algumas áreas de Cerrado devido principalmente a implantação desse sistema sem observar suas premissas como, principalmente, o não revolvimento do solo e uma correção efetiva deste, o que compromete a adequada disponibilização dos nutrientes às culturas. Mesmo considerando isso, ainda faltam investigações que elucidem o problema da ausência de resposta a fertilizantes em áreas de SPD, que muitas vezes está ligada a baixa eficiência da calagem superficial.

Em suma, para o manejo sustentável do sistema de produção é imprescindível o adequado manejo do solo, com adição anual de palha, para a manutenção da atividade dos microrganismos e correção dos fatores restritivos que afetam sua fertilidade química, física ou biológica, com ênfase no manejo adequado de corretivos de solo.

O conhecimento da relação entre a acidez do solo e o crescimento e desenvolvimento das plantas é, portanto, fundamental para o estabelecimento de práticas de correção que visem à maior eficiência dos sistemas de produção agrícola e ao uso eficiente dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. Introdução do sistema de plantio direto em pequenas propriedades do Estado de Goiás. **Revista da UFG**, [s.l.], v. 7, n. 1, jun. 2004.

ALTMANN, N. **Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no cerrado**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2012. 8 p. (Informações Agronômicas nº 140).

ALTMANN, N. **Plantio direto no Cerrado: 25 anos acreditando no sistema**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2010. 568 p.

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

ANGHINONI, I. 2007 Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: Novais, R.F.; Alvarez, V. H. V.; Barros, N. F.; Fontes, R. F. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira da Sociedade do Solo. p. 873-928.

ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 34, n. 11, p.2029-2036, nov. 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x1999001100008>.

BAKER C. J., SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. No-tillage seeding: Science and practice. **Wallingford**, CAB Internacional, 1996, 258p.

BASSO, C. J. ; SOMAVILLA, L. ; SILVA, R. F. ; SANTI, A. L. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s.l.], v. 45, n. 4, p.456-463, dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4537764>.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. Documentos, 46.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, p. 843-851, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000200038>.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v.38, n. 1, p. 252-261, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100025>

BOYER, J. (1978). **Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides**. Paris: Orstom, v. 35, 173 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 35**, 04 jul. 2006. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

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

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-320, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200013>.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnésio: um elemento esquecido na produção agrícola. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 132, p. 14-16, dez. 2010.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; MARIA, I. C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: Simpósio sobre o manejo de água na agricultura, Campinas, 1987. **Anais...** Campinas : Fundação Cargill, p.27-51, 1987.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Redução da Acidez subsuperficial em Coluna de Solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p. 469-476, mai. 1988.

COCHRANE, T. T.; AZEVEDO, L. G. As savanas do tropico sul-americano: uma visão geral de seus recursos de clima e solo para desenvolvimento agrotecnológico baseado no inventário computadorizado de sistema de terra do CIAT/Embrapa. In: **Simpósio sobre o Cerrado**, 6. Brasília, 1982. Savanas: alimento e energia. Planaltina, Embrapa/CPAC, 1988. P. 773-801.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Brasília, DF: Embrapa/CNPMS, 2009.

CONCEIÇÃO, I. G.; JARDIM, A. N. de O. O alumínio no solo do Cerrado. **Anais...** 63<sup>a</sup> Reunião Anual da SBPC, UFG, Goiânia, 2011.

CORREIA, L. A. Plantio direto em milho. Milho/Tecnologia de Produção. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.72, dez.1980.

COSTA, C.A.S. **Mineralização do S orgânico e adsorção de sulfato em solos**. 1980. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COSTA, E. N. A. N.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. O. G. D. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, jul. 2006.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000700016>

COSTA, N.; ANDREOTTI, M.; FERNANDES, J.; CAVASANO, F.; ULIAN, N.; PARIZ, C.; DOS SANTOS, F. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Brasília, v. 9, n. 2, 166-173, 2014  
<https://doi.org/10.5039/agraria.v9i2a3380>

COSTA, N.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. M.; YOKOBATAKE, K.; FERREIRA, J.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.39, n. 3, p. 852-863, 2015.  
<https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269>

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 42-53, jul-ago. 2006.

DECHEN, A. R. Deficiência de cálcio e magnésio nos solos e nas plantas. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O. C; SILVA, N. M. **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1983. p. 86-95.

ELKINS, D.M. & ENSMINGER, L.E. Effect of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 35, p.931-934, 1971.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Piracicaba: Livro cereas, 2004. p. 21-97.

Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - FEBRAPDP. (2017) Ponta Grossa, **Boletim Informativo**. Ano 18, n.43, 10p.

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1691-1698, set. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900020>

FERREIRA LR, FREITAS FCL, TUFFI SANTOS LD & AGNES EL (2007) Integração agricultura pecuária em pequenas propriedades rurais. In: 1º Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no semiárido. **Anais...** Universidade Federal do semi-árido (UFERSA). p.113-130.

FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. de. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 49-62, 2000.

FREITAS, P. L. **Aspectos físicos e biológicos do solo**. In: LANDERS, J. N. (Ed.). Fascículo de experiências de Plantio Direto no Cerrado. Goiânia: APDC, 1994. p. 199-213.

FREITAS, P. L. Harmonia com a natureza. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, p. 12-17, fev. 2002

KAMPRATH, E. J.; NELSON, W. L.; FITTS, J. W. The effect of pH, sulfate and phosfate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 19, p. 463-466, 1956.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; JESUS, F. V.; FRANCISCO, E. A. F. Fornecimento de Enxofre no Sistema de Cultivo Soja-Milho. **Anais...** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, SC, Florianópolis, 2013.

KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO, J. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CARVALHO FILHO, A. Cerrado: solos, aptidão e potencialidade agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, Goiânia, 1990. **Anais...** São Paulo: Fundação Cargill, 1992. p. 1-31.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, jan. 2000. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000100016>

KONONOVA, M. M. (1975). Humus of virgin and cultivated soils. In: GIESEKING, J. E. (ed.): **Soil Components**, v.1. 1: Organic Components: 475-526. Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin. 534 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65915-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65915-7_8)

KORONKA, P. Machinery development for direct drilling. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 7, n. 4, p. 190-195, 1973. <https://doi.org/10.1177/003072707300700411>

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, S.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v.41, p.29-35, 2010.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER S.; GUILHERME L. R. G.; SILVA C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. Associação Nacional para Difusão de Adubos: São Paulo, 2004, 115p.

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

MEHLICH, A; Influence of sorbed hydroxyl and sulfate on liming efficiency, pH and conductivity. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 28, p. 496-499, 1964.

MIELNICZUK, J.; RHEINHEIMER, D.S. & VEZZANI, F.M. Interações fertilidade e conservação do solo, Santa Maria, RS, 2002. In: FERTBIO, 2002, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria : SBCS, 2002.

MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F. Química dos solos ácidos. IN: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, 2009. p.313-380.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. G. **Plantio direto**: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 144 p.

MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: **Fundação Cargill**, Campinas, S.P. Atualização em plantio direto. 1985. p.147-160.

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

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

OSORIO FILHO, B. D. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 75 f. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, Jan. 2011.

PAIVA, C. T. C. **Cultivo de milho em plantio direto e convencional com diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura**. 33f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Acre, Rio Branco: UFAC, 2011.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, Jan. 2011.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 60, n. 2, p. 79-82, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000200003>

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Ceres, 1991. 343 p.

RATKE, R. F. **Classes granulométricas e modo de aplicação de calcário na cultura do milho**. 139 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, [s.l.], v.35, p. 562-569, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300011>

RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisols. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 72, p. 40-44, 1980. <https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200010009x>

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; COSTA, U.F. Relação entre o teor de cálcio no solo e o desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.269-275, 1983.

SÁ, J. C. M.; NETTO, C. Q.; NAVARRO, J. F.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O. Modos de aplicação de nitrogênio e fósforo na cultura de milho em plantio direto. **Synergismus Scyentifica**, UTFPR, Pato Branco, v. 4, n.1, 2009

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G., eds. **Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.267-320.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influencia do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F.A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.4, p.496-506, 2009.

SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; ISRAEL, D. W.; RAPER, C. D.; RUFTY, T. W. Magnesium is more efficient than calcium in alleviating aluminum rhizotoxicity in soybean and its ameliorative effect is not explained by the Gouy-Chapman-Stern model.



**Plant and Cell Physiology**, [s.l.], v. 42, p. 538–545, 2001.

<https://doi.org/10.1093/pcp/pce066>

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, p.1462- 1470, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000008>

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. G. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, p. 205-274, 2007.

SOUSA, D.M.G. de. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: **Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo sob plantio direto**, v. 1., 1998, Rio Verde, GO. Resumos de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p. 72-77.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; SOBRINHO, T. A.; FEDATTO, E.; ZANON, G. D.; HASEGAWA, E. K. B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade do milho em plantio irrigado. **Revista Brasileira de Milho e sorgo**, [s.l.], v. 2, p. 55-62, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 820 p.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.32, p.1609-1618, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400025>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 609-618, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400013>

VIEIRA, M. J. Embasamento técnico do sub-programa de manejo e conservação dos solo-Paraná Rural. In: **Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento**.

Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. 2.ed. Curitiba: IAPAR/ SEAB, 1994. p. 12-40.

YANG, J. L.; YOU, J. F.; LI, Y. Y.; WU, P.; ZHENG, S. J. Magnesium enhances aluminum-induced citrate secretion in rice bean roots (*Vigna umbellata*) by restoring plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity. **Plant and Cell Physiology**, [s.l.], v. 48, p. 66–74, 2007. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcl038>

## CAPÍTULO 2

### CORRETIVO CALCINADO APLICADO EM DIFERENTES MANEJOS NA CULTURA DO MILHO

**RESUMO:** Com o advento do plantio direto na cultura do milho, os corretivos aplicados superficialmente na palhada passam a ser uma prática que precisa ser mais bem estudada. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de uma fonte corretiva contendo 60% de CaO e 30% de MgO, na cultura do milho, em dois tipos de solo com palhada, avaliando diferentes manejos de aplicação. Foram realizados dois experimentos distintos (testes biológicos) em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, utilizando-se dois solos com texturas diferentes, sendo um arenoso e outro argiloso, classificados como Neossolo Quartzarênico órtico típico e Latossolo Vermelho distrófico típico, respectivamente. Foram utilizados vasos de 20 kg e a variedade de milho DKB390 VT PRO. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos consistiram de três doses (150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup>), em dois modos de aplicação: sob e sobre a palhada com dois adicionais: sem utilização de palhada (controle 1) e com palhada (controle 2), ambos sem aplicação do corretivo. Para a análise vegetal, foi utilizado um arranjo fatorial duplo com dois adicionais (3 x 2 + 2) e para a análise química do solo, foi realizado um arranjo fatorial triplo subdividido (3 x 2 x 5), onde foram avaliadas cinco profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm). Durante todo o experimento foi simulada uma chuva de 250 mm acumulado. Foram avaliados: diâmetro de colmo; altura de planta; massa de matéria seca de parte aérea; teores de cálcio e magnésio foliares e parâmetros químicos do solo. Foram testadas as pressuposições estatísticas dos dados obtidos, os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey e teste de Dunnett, ambos a 0,05 de significância. Os dados significativos para o fator quantitativo (doses) foram submetidos à análise de regressão. A aplicação do corretivo em solo arenoso, em condições de casa de vegetação, altera a produção de massa de matéria seca da parte aérea, diâmetro do colmo e altura das plantas de milho, assim como a acidez ativa e potencial e os teores de cálcio, magnésio e alumínio no solo, para ambos os solos. De maneira geral, a aplicação do corretivo sobre a palha proporcionou resultados superiores, em detrimento da aplicação sob esta.

**Palavras-chave:** cobertura vegetal; corretivo de acidez; fertilidade do solo; nutrição vegetal; palhada; *Zea mays*

## CALCINATING CORRECTIVE APPLIED IN DIFFERENT HANDLING IN CORN CULTURE

**ABSTRACT:** With the advent of no-tillage in the corn crop, the correctives applied superficially in the straw become a practice that needs to be better studied. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of a corrective source containing 60% CaO and 30% MgO, in the corn crop, in two types of soil with straw, evaluating different applications. Two distinct experiments (biological tests) were carried out in a greenhouse belonging to the Universidade Federal de Uberlândia, using two soils with different textures, being a sandy and one clayey, classified as Neossolo Quartzarênico órtico típico and Latossolo Vermelho distrófico típico, respectively. 20 kg vases and the DKB390 VT PRO maize variety were used. The experimental design was completely randomized, with three replications. The treatments consisted of three doses (150, 300 and 450 kg ha<sup>-1</sup>), in two modes of application: under and over straw, with two additional ones: without straw (control 1) and straw (control 2) both without application of the corrective. For the vegetal analysis, a double factorial arrangement with two additional (3 x 2 + 2) was used and for the chemical analysis of the soil, a triple subdivide factorial arrangement (3 x 2 x 5) was carried out, where five depths were evaluated (0-2, 2-4, 4-6, 6-8 and 8-12 cm). During the whole experiment a cumulative 250 mm rain was simulated. The following were evaluated: stem diameter; plant height; mass of dry shoot matter; calcium and magnesium foliar contents and soil chemical parameters. The statistical assumptions of the obtained data were tested, which were submitted to analysis of variance by Tukey test and Dunnett test, both 0.05 of significance. Significant data for the quantitative factor (doses) were submitted to regression analysis. The application of the corrective in sandy soil under greenhouse conditions changes the dry matter yield of shoot, diameter of stem and height of corn plants, as well as the active and potential acidity and the contents of calcium, magnesium and aluminum in the soil, for both soils. In general, the application of the corrective to the straw provided superior results, to the detriment of the application under it.

**Keywords:** Plant cover; correction of acidity; soil fertility; management of application; plant nutrition; straw; *Zea mays*

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo, devido ao seu potencial produtivo e valor nutritivo (FANCELLI, 2011). Neste cenário, o Brasil é hoje um país estratégico, pois é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador mundial de milho (FAO, 2017) e a estimativa é que a demanda por alimentos crescerá 15% nos próximos 10 anos e o país será responsável, desta forma, por atender 40% desta demanda (ONU, 2017).

Assim, esta estratégia considerará, além do aumento populacional, a escassez de áreas de cultivo, os riscos intrínsecos à atividade e, consequentemente, o uso de práticas de manejo e tecnologias que possibilitem colher maior quantidade de grãos por área, aumentando assim, a produtividade.

Hoje, são plantados cerca de 17 milhões de hectares (CONAB, 2017). A adoção de tecnologias como o sistema plantio direto (SPD), utilização de sementes melhoradas e outras práticas de manejo, foi responsável pelo aumento da produtividade nesses últimos anos, contribuindo, assim, com a sustentabilidade, isso porque, se mantivéssemos a produtividade de 20 anos atrás, hoje precisaríamos plantar 120 milhões de hectares para alcançarmos a produção atual (PEIXOTO, 2014).

No entanto a produtividade média deste cereal no Brasil ( $5,4 \text{ ton ha}^{-1}$ ) (CONAB, 2017) está muito abaixo do potencial produtivo atingido por bons produtores, por volta de  $10 \text{ a } 12 \text{ t ha}^{-1}$  (VITTI et al., 2011). Ainda, essa cultura é influenciada constantemente pelo ambiente e um dos principais fatores que limitam a produção é o uso inadequado de fertilizantes e corretivos, sendo a adubação reconhecidamente o fator que mais afeta a produtividade, a sustentabilidade da atividade e o custo da lavoura e, seu consumo tem crescido acentuadamente nos últimos anos na cultura do milho, principalmente em função do aumento de produção por unidade de área no Brasil (ARAÚJO, 2011).

Por conseguinte, a nutrição mineral adequada da cultura, através de implementação de programas racionais de correção do solo e adubação, baseados no diagnóstico da fertilidade do solo e que considerem as quantidades e o balanço entre nutrientes, associada a condições climáticas favoráveis, principalmente em termos de precipitação pluviométrica, constituem-se em condições básicas para elevar a produtividade de milho (SCIVITTARO, 2000).

Assim, considerando-se a adubação e a nutrição da cultura do milho dentro deste contexto, pode-se dizer que sua eficiência no incremento da produtividade será tanto maior quanto melhor for o ajuste dos fatores de produtividade. Desta forma, apesar do milho apresentar certa tolerância à acidez do solo, a calagem é uma prática indispensável para se atingir alta produtividade, indicando também, um papel mais nutricional do calcário, principalmente de fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do que corretivo.

É sabido que no SPD, a correção da acidez do solo é feita mediante aplicação de calcário na superfície sem incorporação. A eficiência desta aplicação superficial, na neutralização da acidez do solo na cultura do milho resulta, muitas vezes, respostas pouco expressivas da cultura a essa aplicação superficial em solos ácidos, manejados neste sistema. As explicações para esse comportamento têm sido relacionadas com uma série de fatores inerentes a esse sistema de cultivo (CAIRES et al., 2002).

Desta forma, com o advento do SPD nesta cultura, os corretivos aplicados superficialmente na palhada passam a ser uma prática que precisa ser mais estudada. Com isso, a possibilidade de aliar em uma nova tecnologia, óxidos de Ca e Mg concentrados, que reajam imediatamente no perfil do solo com nutrição efetiva desses elementos em uma única aplicação, com correção de acidez de solo e diminuição da toxicidade do alumínio, pode ser uma alternativa promissora para os agricultores fazerem o manejo desta nova tecnologia sob a palha na cultura do milho.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agronômica de uma fonte corretiva contendo Ca e Mg, na cultura do milho, em dois tipos de solo com palhada, avaliando diferentes manejos de aplicação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos distintos (testes biológicos), utilizando-se dois solos com texturas diferentes, sendo um arenoso e outro argiloso (Tabela 1), coletados em área de campo no município de Santa Vitória e na Fazenda Experimental do Glória, no município de Uberlândia, respectivamente, classificados segundo EMBRAPA (2013). Os solos foram coletados nas coordenadas 18° 53' 23,91" de Latitude Sul, 50° 00' 56,33" de Longitude Oeste e 496 m de altitude o solo arenoso e 18° 53' 04,91" de Latitude Sul, 58° 12' 22,63" de Longitude Oeste e 879 m de altitude o solo argiloso, na profundidade de 0 - 20 cm, posteriormente foi peneirado em malha de 4 mm e seco ao sol, os quais apresentam as seguintes características físicas e químicas (Tabelas 1 e 2) e posteriormente pesados 20 kg e adicionado aos vasos.

Tabela 1 – Granulometria dos solos utilizados nos experimentos.

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
(1) RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico	626	228	1	145
(2) LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico	276	473	69	382

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 2011).

(1) Município de Santa Vitória, Minas Gerais; (2) Município de Uberlândia, Minas Gerais.

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, situada a 18° 35' de Latitude Sul, 47° 52' de Longitude Oeste e 931 m de altitude. Como foram realizados em épocas distintas o solo arenoso foi conduzido no período compreendido entre 15 de junho de 2016, quando foi realizada a semeadura do milho e 11 de agosto de 2016, por ocasião da colheita, feita na fase V9. Com o solo argiloso foi conduzido no período compreendido entre 17 de fevereiro de 2017, com a semeadura do milho e 11 de abril de 2017, no ato da colheita, realizada na fase V9.

Durante todo o período do experimento foi simulada uma chuva através de um sistema montado com mangueiras acima dos vasos e com bicos de aspersão em forma cilíndrica e sua vazão regulada uniformemente em toda a extensão do experimento. Com isso, conseguiu-se uma simulação de chuva com intensidade de 2,14 mm por

minuto, com a intenção de fornecer água para o experimento e criar um mecanismo físico para a percolação da fonte através da palhada.

Tabela 2 - Caracterização química dos solos utilizados nos experimentos.

Solo	pH	P	K	S	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	H+Al	t	CTC	V	m	M.O
		H <sub>2</sub> O	- mg dm <sup>-3</sup>	-	-----	-----	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	%	-----
RQo <sup>1</sup>	4,8	1,1	12	3	0,6	0,7	0,3	1,03	2,8	1,63	3,83	27	37	1,5
LVd <sup>2</sup>	4,3	0,3	20	2	0,5	0,3	0,1	0,45	4,2	0,95	4,65	9,7	53	2,3

P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); SB = Soma de bases; H+Al = SMP; t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0; V = Sat. por Bases; m = Sat. por Al. <sup>1</sup> Solo arenoso; <sup>2</sup> Solo argiloso.

Foram utilizados vasos com capacidade de 25 kg de solo (base maior = 0,75 x 0,20 m; base menor = 0,68 x 0,13 m e altura 0,19 m) . Nos testes biológicos avaliou-se um calcário calcinado, com 60% e 30% de CaO e MgO, respectivamente. Com o poder de neutralização (PN) de 182% e poder reativo de neutralização total (PRNT) de 175%, granulometria de 0% retido na peneira de 10 (ABNT nº 10) , 2% retido na peneira 20 (ABNT nº 20), 5% retido e 93% passaram na 50 (ABNT nº 50), aplicados com diferentes manejos (Tabela 3).

Tabela 3 - Tratamentos realizados nos experimentos.

Tratamentos	Produto	Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	Doses (g vaso <sup>-1</sup> )	Aplicação
T01	Controle 1	0	0,00	SEM palha
T02	Controle 2	0	0,00	COM palha
T03	6030	150	2,25	ACIMA da palha
T04	6030	300	4,50	ACIMA da palha
T05	6030	450	6,75	ACIMA da palha
T06	6030	150	2,25	ABAIXO da palha
T07	6030	300	4,50	ABAIXO da palha
T08	6030	450	6,75	ABAIXO da palha

Os experimentos apresentaram um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, sendo que os tratamentos consistiram em um esquema fatorial duplo com mais dois adicionais (3 x 2 + 2) para os dados da parte aérea, sendo o fator 1 com três doses (150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup>) do corretivo, o fator 2 com dois modos de aplicação: sob e sobre a palhada, mais dois adicionais: sem utilização de palhada (controle 1) e com palhada (controle 2), ambos sem aplicação do corretivo. Para as análises química do solo foi realizado um arranjo fatorial triplo



subdivido (3 x 2 x 5), onde foram avaliadas cinco profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm). Totalizando 24 parcelas.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com auxílio do programa SPSS (NORUŠIS, 2011). Em seguida, os dados foram submetidos a análises estatísticas utilizando-se os programas SISVAR (FERREIRA, 2014) e ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey e teste de Dunnett, ambos a 0,05 de significância. Os resultados para o fator quantitativo foram submetidos à análise de regressão polinomial (VIEIRA, 2008), considerando-se o controle 2 como a dose 0 (sem aplicação, com presença de palhada).

Antes da semeadura, foram adicionados superficialmente ao solo 12,25 g de MAP; 6,82 g de nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) e 0,6 g de MI BR-12 contendo 9 % zinco (Zn), 2 % manganês (Mn), 1,8 % boro (B), 0,8 % cobre (Cu) e 0,1 % molibdênio (Mo), por vaso, incorporados manualmente em todas as parcelas, logo após a simulação de uma chuva de 10 mm. Posteriormente adicionados os tratamentos e 150 g de cobertura vegetal (palhada) por vaso, proveniente de cana-de-açúcar recém-colhida *in natura*, para simular uma cobertura de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , logo após a simulação de uma chuva de 12 mm.

As sementes foram semeadas após um acumulado de 60 mm de chuva simulada, utilizando-se a variedade de milho DKB390 VT PRO com seis sementes por vaso. A partir da emergência das plantas a irrigação foi acionada por um minuto por dia (2,14 mm). Em V2 foi feito o desbaste e mantido três plantas por vaso até a colheita, dez dias após a emergência houve um aumento da lâmina de água para quatro minutos por dia (8,55 mm) e foi mantido até o final do ciclo do experimento, totalizando o acumulado de 250 mm em 60 dias, baseando-se no índice pluviométrico do período da instalação da cultura na região.

Na fase V3, foi feito o 1ª adubação foliar em uma calda contendo 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Mn (50% de Mn); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Zn e Cu (15,9% de Zn; 63,0 de%. Cu); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de B (10% de B) e mais 0,5 mL de regulador de crescimento.

Na fase V4, foi feita a primeira cobertura com  $\text{KNO}_3$  em solução de 100 mL por vaso, com a dose de 2 g por vaso, juntamente com o 2ª adubação foliar, em uma calda contendo 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Mn (50% de Mn); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Zn e Cu (15,9% Zn; 63,0%. Cu); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de B (10% de B).

A segunda cobertura com  $\text{KNO}_3$  (solução de 100 mL por vaso) com a dose de 3 g por vaso, foi feita na fase V6. Foi realizada uma aplicação para controle de pulgão

com Tiametoxam 250 g kg<sup>-1</sup>, em uma dose de 1 g L<sup>-1</sup> (simulando uma calda de 100 L, com uma dose de 100 g ha<sup>-1</sup>).

Na fase V8/V9, foram realizadas avaliações de diâmetro do colmo, utilizando-se paquímetro digital, medindo-se o diâmetro maior do colmo de todas as plantas das parcelas; altura de planta, com auxílio de régua graduada, medindo a planta da base até a inserção da última folha expandida; e massa de matéria seca (g) de parte aérea (MSPA), na qual as plantas de cada tratamento foram seccionadas à altura do colo, separando-se a parte aérea das raízes. A parte aérea foi levada para estufa a 65°C, até atingir massa constante. Após 72 horas, foi pesada em balança de precisão e teve extraídos seus teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), segundo EMBRAPA (2011). Ainda, foi coletado solo para análise dos parâmetros químicos, segundo EMBRAPA (2011), em camadas com diferentes profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm), sendo três pontos de coletas em cada vaso.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão demonstrados os dados de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e diâmetro de colmo do milho, em função do manejo da aplicação de doses do corretivo contendo 60% e 30% de CaO e MgO, respectivamente, em dois solos de texturas diferentes, sendo um argiloso e outro arenoso.

Tabela 4 - Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e diâmetro de colmo do milho, em função do manejo de aplicação de doses de um corretivo, em solos de diferentes texturas.

		MSPA			Diâmetro		
Tratamentos		APLICAÇÃO					
		Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	Média
SOLO ARENOSO							
		----- g planta <sup>-1</sup> -----			----- cm -----		
Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	150	18,66	17,20	17,93	1,39	1,28	1,33
	300	23,54	14,21	18,87	1,54	1,08	1,31
	450	26,14	15,11	20,63	1,43	1,31	1,37
Média		22,78 a	15,51 b		1,46 a	1,22 b	
Controle 1	Sem palha	23,22			1,36		
Controle 2	Com palha	18,41			1,34		
CV %		34,13			16,44		
DMS		6,68			0,22		
SOLO ARGILOSO							
Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	150	6,36	7,07	6,71	1,00	0,96	0,98
	300	12,93	5,68	9,30	1,21	0,94	1,07
	450	10,98	12,46	11,72	1,20	1,22	1,21
Média		10,09	8,40		1,14	1,04	
Controle 1	Sem palha	13,28			1,31		
Controle 2	Com palha	5,88			0,79		
CV %		60,38			27,35		
DMS		5,63			2,94		

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Não foram observadas diferenças ( $p>0,05$ ) em relação às doses aplicadas, nos dois tipos de solo (Tabela 4), no entanto, observa-se que houve diferença significativa ( $p<0,05$ ), tanto na MSPA, como no diâmetro do colmo, em relação ao modo de aplicação no solo de textura arenosa (Tabela 4). A aplicação do corretivo abaixo da palha neste solo proporcionou maior incremento da MSPA (46,9%) e maior diâmetro do colmo (19,7%), enquanto que no solo de textura argilosa não houve diferenciação

( $p > 0,05$ ) para ambos os parâmetros em função do modo de aplicação, havendo, no entanto, incremento de 20,1% na MSPA e 9,6% no diâmetro do colmo (Tabela 4).

O colmo funciona como estrutura de reserva, ocorrendo translocação de fotoassimilados do colmo para os grãos (MAGALHÃES; JONES, 1990). Assim, é importante avaliar este parâmetro vegetativo, pois maiores diâmetro de colmo, normalmente, se correlacionam positivamente com maior produtividade de grãos. Logo o aumento deste componente representa um fator importante do ponto de vista fisiológico, pois de acordo com Fancelli; Dourado Netto (2000), o colmo não possui apenas função de suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente, atua como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos.

Além disso o acúmulo de MSPA pela cultura do milho de acordo com Hanway (1962), tem grande influência do nível de fertilidade do solo. A maior taxa de crescimento das plantas de milho é obtida quando são cultivadas sob condições adequadas de nutrientes. Este fato é especialmente importante em SPD, pois se o manejo dos corretivos não for adequado ou o produto não atravessar a barreira que a palha representa, não alcançando o solo e, por fim, não reagindo com ele, a cultura ficará prejudicada e não atingirá todo o seu potencial produtivo, visto que a correção do solo é importante para garantir o ambiente ideal para o desenvolvimento do sistema radicular e facilitar a absorção de nutrientes.

Como no presente estudo a MSPA foi avaliada com as plantas de cada tratamento seccionadas à altura do colo, sendo compostas, dessa forma, de folhas + colmos, os resultados dos parâmetros MSPA e diâmetro do colmo (Tabela 4) tem relação direta entre si. Nota-se, dessa forma, que independente da dose, como a aplicação do corretivo feita abaixo da palha, no solo arenoso, proporcionou maior incremento da MSPA e maior diâmetro do colmo (Tabela 4), infere-se que a presença de palhada representou uma barreira física para a percolação desta fonte e seus elementos no solo e, assim, com a aplicação realizada abaixo da palhada, o contato direto com o solo e consequente reação com este, proporcionou resultados superiores à aplicação acima da palha, para esses parâmetros avaliados (Tabela 4).

Além disso, segundo Sá (1993), o porte das plantas de milho deve ser de médio a baixo com o objetivo de obter maior eficiência na colheita mecânica e evitar problemas de quebra e acamamento. Ademais, de acordo com Sangoi et al. (2002), essas características são fundamentais, pois quanto maior é a relação entre altura de inserção

da espiga e estatura da planta, mais deslocado estará o centro de gravidade da planta e, portanto, maior possibilidade de quebra de colmos, uma vez que o milho aloca cerca de 50% da fitomassa total nos grãos ao final do ciclo. Por outro lado, plantas mais altas e com inserção de espigas mais elevadas apresentam vantagens na colheita (POSSAMAI et al., 2001).

Com relação à altura de plantas observa-se que não houveram diferenças significativas ( $p>0,05$ ) nas plantas cultivadas em solo argiloso em função das doses e dos diferentes modos de aplicação (Tabela 5). Entretanto ocorreu diferença ( $p<0,05$ ) na altura das plantas de milho, cultivadas em solo arenoso em relação ao manejo da aplicação do corretivo, que, independente da dose aplicada, quando esta foi realizada abaixo da palha, proporcionou maior altura de plantas com um aumento de 46,5% em relação às plantas nas quais o manejo da aplicação foi realizado acima da palha (Tabela 5).

Tabela 5 - Altura de plantas de milho, submetido a diferentes manejos de aplicação de doses de um corretivo, em solos de diferentes texturas.

		SOLO ARENOSO			SOLO ARGILOSO		
Tratamentos		APLICAÇÃO					Média
		Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	
----- m -----							
Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	150	0,53	0,41 *	0,47	0,53	0,41	0,39
	300	0,68	0,43 *	0,55	0,68	0,43	0,44
	450	0,68	0,45 *	0,57	0,68	0,45	0,51
Média		0,63 a	0,43 b		0,46	0,43	
Controle 1	Sem palha	0,73*			0,56		
Controle 2	Com palha	0,59			0,31		
CV %		34,13			33,79		
DMS		0,89			0,15		

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. \*Valores diferentes do controle 1 pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Ainda, de acordo com a Tabela 5, qualquer dose do corretivo aplicada acima da palha, em solo arenoso, diferiu ( $p<0,05$ ) dos tratamentos onde não houve aplicação desta fonte na ausência de palhada, nas quais foram observadas plantas maiores que cresceram em média 41% a mais do que as supracitadas.

A análise química de tecido vegetal é a principal ferramenta para a avaliação do estado nutricional das plantas (MALAVOLTA, 2006). Assim, o adequado diagnóstico nutricional da cultura é importante para fornecer informações úteis para uso otimizado de programas de adubação com reflexos diretos na produtividade e na lucratividade do

produtor (PRADO, 2008). Com efeito Caires et al. (2002) observaram aumento nos teores de Ca e Mg nas folhas de milho com a aplicação superficial de corretivo em SPD.

Os teores de Ca e Mg na parte aérea do milho cultivado em solo argiloso e arenoso em função das doses do corretivo e do manejo de aplicação encontram-se na Tabela 6 e não foram observadas diferenças ( $p>0,05$ ) nos teores desses nutrientes em função das doses e dos modos de aplicação do corretivo em nenhum dos solos analisados (Tabela 6).

Tabela 6 - Teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na parte aérea de milho, em função do manejo de aplicação de doses de um corretivo, em solos de diferentes texturas.

		Ca			Mg		
Tratamentos		APLICAÇÃO					
		Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	Média
SOLO ARENOSO							
		----- g kg-1 -----					
Doses (kg ha-1)	150	3,20	2,97	3,08	1,52	1,10	1,31
	300	3,27	3,37	3,32	1,55	1,68	1,61
	450	3,20	3,70	3,45	1,38	1,37	1,38
Média		3,22	3,34		1,48	1,38	
Controle 1	Sem palha		3,33			1,48	
Controle 2	Com palha		3,23			1,44	
CV %			14,91			33,55	
DMS			0,49			0,48	
SOLO ARGILOSO							
Doses (kg ha-1)	150	3,60	3,53	3,57	2,78 *	2,45 *	2,61
	300	3,53	3,37	3,45	3,08 * +	2,42 *	2,75
	450	3,70	3,20	3,45	3,28 * +	2,83 *	3,06
Média		3,61	3,37		3,05	2,57	
Controle 1	Sem palha		3,33			1,11 *	
Controle 2	Com palha		3,40			1,66 +	
CV %			9,88			20,27	
DMS			0,34			0,50	

\*Valores diferentes do controle 1 e + valores diferentes do controle 2, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Muitas funções do Ca estão ligadas à composição estrutural de macromoléculas e relacionadas à sua capacidade de coordenação, o que confere ligações intermoleculares estáveis, mas reversíveis, principalmente nas paredes celulares e na membrana plasmática (VITTI et al., 2006). Para Amaral (2003), o Ca pode ser fornecido em altas concentrações e atingir mais de 10% do peso seco em folhas adultas, sem incorrer em sintomas de toxicidade ou inibição do crescimento da planta. Além

disso, ao contrário dos outros nutrientes, altos teores de Ca estão localizados frequentemente nas paredes celulares dos tecidos, vacúolos e apoplasma.

De acordo com Malavolta (2006), os teores de Ca encontram-se em níveis adequados para a cultura do milho, tanto para as plantas cultivadas em solo arenoso quanto em argiloso. Por sua vez, os teores de Mg das plantas cultivadas em solo argiloso (Tabela 6) encontram-se dentro da faixa de suficiência considerada adequada para a cultura. O mesmo não é observado com as cultivadas em solo arenoso, nas quais os teores observados apresentam-se abaixo do nível crítico considerado por Malavolta (2006).

Segundo Büll (1993), o acúmulo de Mg ocorre paralelamente à matéria seca, com máxima acumulação ocorrendo entre os estádios de florescimento e de grãos leitosos, mantendo-se constante até a maturação. No entanto a porcentagem do teor deste elemento nas folhas + colmos, aos 60 dias é o menor em todo o ciclo da cultura, havendo aumento linear desse elemento após o pendoamento.

O Mg é um nutriente indispensável para o crescimento das plantas, desempenhando um papel essencial na constituição da clorofila base da fotossíntese. Sem fonte de Mg disponível a planta não pode desenvolver-se, este elemento tem múltiplas funções, além da formação da clorofila, participa na síntese das matérias orgânicas de compostos úteis ao crescimento e ao funcionamento das plantas, como glicídios, lipídeos e protídeos, na síntese dos ácidos aminados e proteínas celulares, na assimilação e migração de P na planta, no teor de vitaminas A e C, bem como na resistência aos fatores desfavoráveis como seca e doenças (VITTI et al., 2006; MALAVOLTA, 2006).

Dessa forma, apesar das plantas terem se desenvolvido mais no solo arenoso (Tabela 4 e 5), nota-se baixo teor de Mg nos tecidos vegetais (Tabela 6), assim, esses resultados podem ser consequência do efeito diluição, com redistribuição de Mg. Esse efeito é caracterizado, segundo Maia et al. (2005), quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente. Segundo esses autores, outro efeito que contribui para a diminuição dos teores de alguns nutrientes na planta é a redistribuição do nutriente das folhas mais velhas para o fruto (ou enchimento de grãos), que é um dreno. Trata-se de um fato que é observado para elementos móveis na planta, como o Mg, principalmente em épocas de enchimento e maturação ou próximas a elas, como na época de avaliação no presente estudo (iniciação do primórdio

do pendão). O mesmo não foi observado para o Ca (Tabela 6), que é um elemento com mobilidade muito limitada (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em relação ao teor de Mg na parte aérea de plantas de milho, cultivado em solo de textura argilosa, observa-se que, independente dos manejos de aplicação das doses do corretivo avaliado, todas as doses aplicadas proporcionaram teores de Mg superiores aos das plantas que não receberam aplicação da fonte na ausência de palhada (Tabela 6). Ainda, quando aplicadas às doses de 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup>, abaixo da palha, o teor de Mg difere ( $p < 0,05$ ) dos teores das plantas que não receberam o corretivo, na presença de palhada (Tabela 6).

Caires et al. (2006) avaliando alterações químicas do solo cultivado com milho, em função da aplicação de doses de corretivo, na ausência e na presença de cobertura do solo, não observaram alteração nas concentrações de Ca e Mg nas folhas de milho, independente da presença da palha, em contraste aos resultados obtidos no presente estudo.

Segundo Faquin (2002), a análise de tecidos vegetais aliada à análise do solo permite um diagnóstico mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de alterações no programa de adubação. No entanto o solo é um meio complexo, heterogêneo e nele ocorrem inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas, que influenciam a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes aplicados com os fertilizantes.

Nas Tabelas 7 e 8 são mostrados os teores de Ca e Mg respectivamente, nos solos arenoso e argiloso, em função das doses e manejos de aplicação (acima e abaixo da palha) em diferentes profundidades.

No que diz respeito aos teores de Ca (Tabela 7), observa-se que no solo arenoso houve diferenças ( $p < 0,05$ ) em relação às doses (Figura 1). Quanto ao modo de aplicação, quando o corretivo foi aplicado abaixo da palhada houve maior incremento (0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) nos teores de Ca no solo comparado à aplicação acima da palha, demonstrando que o contato direto com a fonte de Ca no solo foi mais satisfatório para incremento desse elemento, não conseguindo, efetivamente, atravessar a barreira que a palha representa.



Tabela 7 – Teor de cálcio (Ca) no solo, submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	3,63	2,62	2,20	1,39	0,83	2,14 A
Acima	3,11	2,44	2,15	0,98	0,82	1,90 B
Média	3,37 a	2,53 b	2,18 b	1,19 c	0,82 c	
CV = 12,07%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,11		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,38			
Doses						
150	2,95	2,45	2,17	1,32	0,79	1,94
300	3,46	2,44	2,12	0,90	0,83	1,95
450	3,70	2,70	2,24	1,34	0,85	2,17
Média	3,37	2,53	2,18	1,19	0,82	
CV = 19,9%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,30					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	2,05 Aa	0,99 Ab	0,40 Ac	0,09 Ad	0,17 Acd	0,74
Acima	1,63 Ba	0,75 Bb	0,33 Ac	0,11 Ac	0,20 Ac	0,60
Média	1,84	0,87	0,36	0,10	0,18	
CV = 26,88%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,10		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,24			
Doses						
150	1,45 a	0,83 b	0,35 c	0,09 c	0,16 c	0,57
300	2,03 a	0,81 b	0,31 c	0,11 c	0,22 c	0,70
450	2,05 a	0,98 b	0,43 c	0,10 d	0,17 cd	0,74
Média	1,84	0,87	0,36	0,10	0,18	
CV = 26,88%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,29					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Contudo a camada de palha sobre o solo é essencial para o sucesso do SPD, pois esta cria um ambiente favorável às condições físicas, químicas e biológicas do solo, sendo, dessa forma, fundamental a cobertura permanente do solo, para manter ou melhorar esses atributos e, assim, a qualidade do solo (ALVARENGA et al., 2001). Além disso, apesar da aplicação acima da palha não ter sido tão eficiente, tanto para a aplicação do corretivo abaixo quanto acima da palhada, os teores de Ca encontrados no solo arenoso (Tabela 7) foram classificados como médio de acordo com a faixa de suficiência considerada pela CFSEMG (1999). Portanto apesar da aplicação do corretivo abaixo da palha ter proporcionado maior ( $p < 0,05$ ) incremento nos teores deste elemento devido a maior superfície de contato com o solo, independente do modo de aplicação esses teores foram elevados da classificação “muito baixo” para “médio” (CFSEMG, 1999).

Esse é um fato importante e, de fato, dados obtidos por Batista; Batista (1981), em um dos poucos trabalhos estudando os efeitos de níveis de Ca como nutriente na cultura do milho, isolados de efeitos “corretivos” relacionados à aplicação deste elemento, demonstraram que a produção de matéria seca de milho foi beneficiada pelo aumento nos níveis de Ca no solo, tanto em condições de acidez excessiva, como com a acidez corrigida.

Também em relação aos teores de Ca em profundidade houveram diferenças ( $p < 0,05$ ) com a aplicação do corretivo, com o maior incremento deste elemento na camada de 0 a 2 cm, em relação às outras camadas, havendo, assim, diminuição do Ca com a profundidade, com os menores teores observados na camada de 6 a 12 cm (Tabela 7).

Em conformidade com esses resultados, Amaral; Anghinoni (2001) estudando a alteração de atributos químicos do solo pela aplicação de corretivos no SPD, também observaram gradientes nos teores de Ca e Mg em profundidade, a partir da superfície, quando não houve a incorporação do corretivo e este foi aplicado acima da palha.

Ademais, o teor de Ca nas camadas superficiais foi considerado bom e somente nas últimas camadas avaliadas neste experimento (6 a 12 cm) foi considerado como baixo de acordo com CFSEMG (1999). O mesmo não foi observado para o solo argiloso (Tabela 7), onde foram encontrados níveis baixos de Ca nesse solo de acordo com a classificação da CFSEMG (1999), tanto para a aplicação abaixo quanto acima da palha, o teor médio deste elemento no solo foi observado apenas na camada de 0 a 2 cm, sendo as demais camadas consideradas com teor baixo ou muito baixo (CFSEMG, 1999).

Pela análise de regressão (Figura 1), observa-se que a reta para o incremento nos teores de Ca no solo de textura arenosa em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo linear. Assim, houve incremento para os teores de Ca com o aumento das doses do corretivo até a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o teor foi de  $2,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e se obteve o máximo incremento deste elemento, havendo aumento de 21,9% em comparação com o controle 2, havendo incremento médio de  $0,0008 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada kg do corretivo.

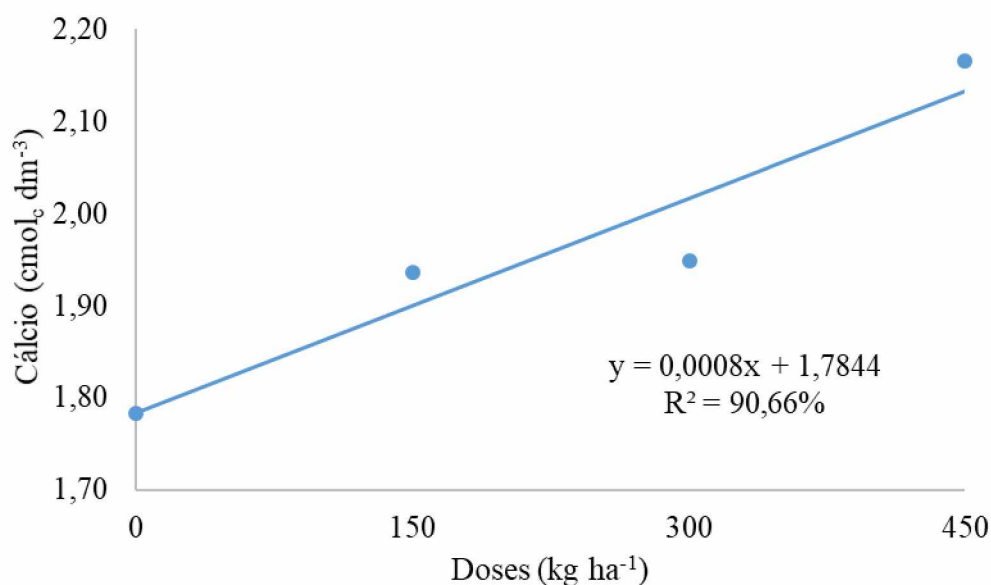


Figura 1 – Teor de cálcio trocável (Ca) no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) em função das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO), em solo arenoso.

Rodrighero et al. (2015) obtiveram interação entre doses e fontes de calcário, aplicadas na superfície em SPD com resposta linear nos teores de Ca em solo arenoso, assim como no presente estudo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Holzschuh (2007) em um experimento com aplicação de corretivos em quatro solos sob SPD no Rio Grande do Sul.

Para os teores de Ca no solo argiloso (Tabela 7), houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os modos de aplicação do corretivo e as profundidades avaliadas. A aplicação abaixo da palha nas camadas mais superficiais (0 a 2 e 2 a 4 cm) proporcionaram maiores concentrações de Ca no solo do que quando aplicado acima da palha. Ainda, de maneira geral, independente do modo de aplicação, os teores de Ca no solo diminuíram em profundidade (Tabela 7).

Do mesmo modo, houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as doses aplicadas e as profundidades avaliadas (Tabela 7) no solo argiloso. Independente da dose os maiores teores de Ca foram observados na camada superficial (0 a 2 cm), diminuindo em profundidade até a camada de 4 a 6 cm, onde após, de modo geral, os teores se igualaram significativamente (Tabela 7). Ainda, observa-se (Figura 2) que a curva para os teores de Ca no solo de textura argilosa, na profundidade 0 a 2 cm, ajustou-se ao modelo quadrático, havendo incremento para os teores de Ca com o aumento das doses aplicadas, até a dose de 437 kg ha<sup>-1</sup>. Nesta dose o teor deste elemento foi de 2,07 cmol<sub>c</sub>

dm<sup>-3</sup>, valor máximo no solo, o qual correspondeu a um aumento de 156% em comparação ao controle 2. Após essa dose houve diminuição em seu teor no solo.

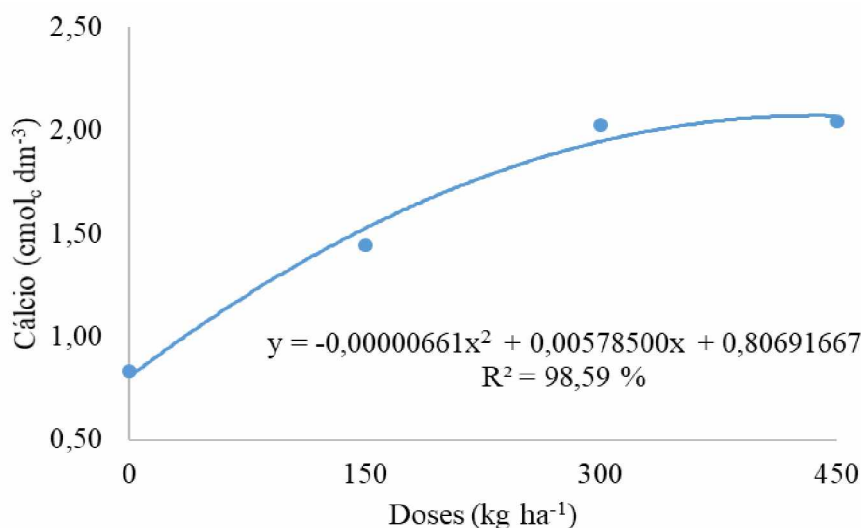


Figura 2 – Teor de cálcio trocável (Ca) no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) em função das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO), na profundidade 0-2 cm, em solo argiloso.

No que se refere aos teores de Mg no solo arenoso (Tabela 8), não houve diferenças ( $p > 0,05$ ) em relação aos modos de aplicação, no entanto foi significativo ( $p < 0,05$ ) para as profundidades, onde as camadas de 0 a 2 e 8 a 12 cm apresentaram os maiores teores, não diferindo da camada de 6 a 8 cm. Nota-se dessa forma a movimentação do Mg no perfil do solo (Tabela 8).

Brauner; Garcez (1982) em solos argilosos também observaram que a aplicação de corretivo no solo aumentou a lixiviação do Mg no perfil do solo. Ainda em estudos de Rechcigl et al. (1985) em diferentes solos sob aplicação de corretivos mostraram que o movimento de Mg no perfil era principalmente uma função do conteúdo de argila do solo. De fato, Gargantini et al. (1982) concluíram que a lixiviação do Mg após a aplicação de corretivos foi mais intensa nos solos mais arenosos, devido a menor capacidade de troca de cátions destes solos.

Costa (2000), em estudos com calagem superficial em SPD, verificou aumento nos teores de Mg na solução do solo, em todo o perfil do solo, indicando movimentação para as camadas subsuperficiais do elemento oriundo da reação de hidrólise do corretivo aplicado em superfície. Os resultados confirmaram a hipótese estabelecida por Oliveira; Pavan (1996), de formação de pares iônicos entre o bicarbonato, Ca e Mg facilitando o seu movimento no perfil do solo. Ainda, Soprano; Alvarez (1989) constataram que a

perda é proporcionalmente maior de Mg em relação ao Ca, considerando a quantidade adicionada de cada elemento.

Segundo Ronquim (2010), um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável; nesse caso, não se devem fazer as adubações e as calagens em grandes quantidades de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação. De acordo com CFSEMG (1999), a CTC do solo avaliado está classificada como baixa, dessa forma, a possibilidade de lixiviação é aumentada.

A movimentação de nutrientes no solo depende de diversos fatores, podendo-se citar, essencialmente, a concentração do nutriente em solução relacionada com a capacidade de adsorção do elemento pelo solo (QAFOKU et al., 2000), as cargas do complexo de troca iônica (PINHEIRO, 2002), a solubilidade do fertilizante (SCHUMMAN, 2001), etc. Além disso, a movimentação do nutriente depende do conteúdo de água (PADILLA et al., 1999) e da macroporosidade do solo (SHIPTALO et al., 2000) entre outros fatores. Na verdade, a movimentação de um nutriente no solo é resultado da atuação simultânea dos fatores supracitados e não da atuação isolada de um deles (DONAGEMMA et al., 2008).

Para o solo argiloso (Tabela 8), houve interação ( $p < 0,05$ ) entre modos de aplicação, profundidades e doses. Dessa forma, quando o corretivo foi aplicado abaixo da palha, na maior dose avaliada neste estudo ( $450 \text{ kg ha}^{-1}$ ), obtiveram-se os maiores teores de Mg nas camadas mais superficiais (0 a 2 e 2 a 4 cm). Ainda, de modo geral, independente das doses e modos de aplicação, os maiores teores do elemento foram observados na camada de 0 a 2 cm, diminuindo com a profundidade (Tabela 8).

Em conformidade com CFSEMG (1999) o teor de Mg no solo arenoso está classificado como médio, independente do modo de aplicação e em todas as camadas avaliadas, exceto na camada de 4 a 6 cm, onde foi classificada como baixo (Tabela 8).

Já no solo argiloso (Tabela 8) de maneira geral, independente das doses e modos de aplicação, esses teores foram classificados como baixo e somente na camada mais superficial (0 a 2 cm) foi classificado como médio, nas demais camadas foi considerado baixo (2 a 4 cm) e muito baixo (4 a 12 cm) (CFSEMG, 1999).

Tabela 8 – Teor de magnésio (Mg) no solo, submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média	
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12		
SOLO ARENOSO							
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
Abaixo	0,85	0,47	0,38	0,47	0,75	0,58 A	
Acima	0,63	0,46	0,36	0,63	0,69	0,56 A	
Média	0,74 a	0,46 b	0,37 b	0,55 ab	0,72 a		
CV = 36,6 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,04		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,19				
Doses							
150	0,71	0,46	0,38	0,48	0,71	0,55	
300	0,62	0,46	0,36	0,66	0,67	0,55	
450	0,89	0,47	0,37	0,51	0,77	0,60	
Média	0,74	0,46	0,37	0,55	0,72		
CV = 36,6 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,34						
SOLO ARGILOSO							
Aplicação	Doses	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	150	0,64 Aa	0,27 Ab	0,08 Ab	0,04 Ab	0,05 Ab	0,22
Acima	150	0,53 Aa	0,17 Ab	0,06 Ab	0,03 Ab	0,03 Ab	0,16
Abaixo	300	0,78 Aa	0,24 Ab	0,05 Ab	0,03 Ab	0,07 Ab	0,23
Acima	300	0,86 Aa	0,26 Ab	0,10 Ab	0,02 Ab	0,03 Ab	0,25
Abaixo	450	1,30 Aa	0,45 Ab	0,18 Ac	0,06 Ac	0,05 Ac	0,41
Acima	450	0,70 Ba	0,21 Bb	0,09 Ab	0,06 Ab	0,04 Ab	0,22
Média		0,80	0,27	0,09	0,04	0,04	
CV = 36,6 %		DMS <sub>aplicação</sub> = 0,21		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,38			

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Outrossim, para o teor de Mg no solo (Tabela 8), houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as doses aplicadas acima da palhada e as profundidades (Figura 3). Dessa forma, observa-se (Figura 3) que a curva para os teores de Mg no solo de textura argilosa, na profundidade 0 a 2 cm, ajustou-se ao modelo quadrático, havendo incremento para os teores de Mg com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 318 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o teor foi de 0,75 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e se atingiu o máximo incremento de Mg, correspondendo a um aumento de 207% em comparação ao controle 2. Após essa dose, houve diminuição no teor desse elemento no solo.

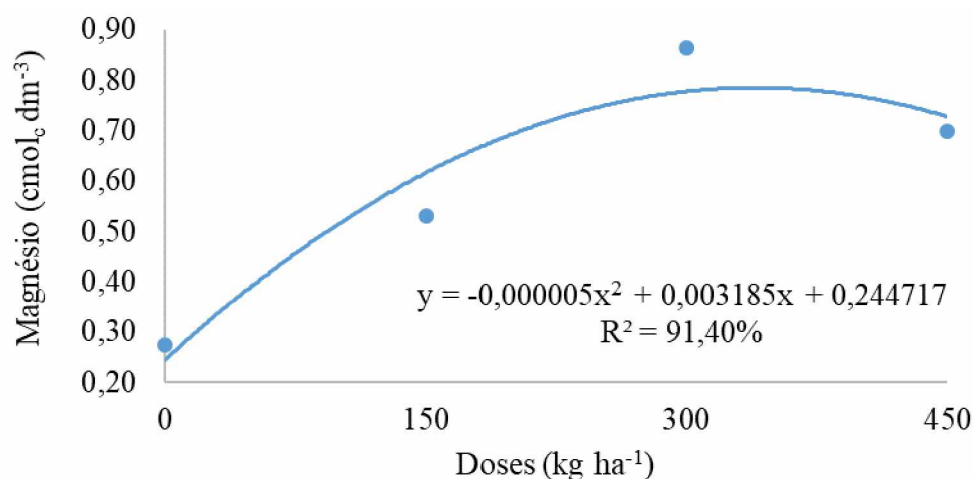


Figura 3 – Teor de magnésio trocável (Mg) no solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) na profundidade 0-2 cm, em função da aplicação das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO) acima da palhada, em solo argiloso.

Similarmente para o teor de Mg (Tabela 8) no solo de textura argilosa houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre doses, quando aplicadas abaixo da palhada e, profundidades. Pela análise de regressão (Figura 4) observa-se que a reta para o incremento nos teores de Mg no solo, em função das doses aplicadas abaixo da palhada ajustou-se a um modelo linear. Assim, na profundidade 0 a 2 cm, houve incremento para os teores de Mg com o aumento das doses até  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o teor foi de  $1,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e se obteve seu máximo incremento no solo, havendo aumento de 318% em comparação ao controle 2, com incremento médio de  $0,0021 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada kg do corretivo. Já na profundidade 2 a 4 cm, também houve incremento desde elemento com o aumento das doses do corretivo até a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o teor foi de  $0,42 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e se obteve o máximo incremento no teor deste elemento, havendo aumento de 294% em comparação com o controle 2, proporcionando incremento médio de  $0,007 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para cada kg do corretivo.

Caires et al. (2006) avaliando o teor de Mg em solo cultivado com milho em função da aplicação de doses de corretivo, na ausência e na presença de cobertura do solo, também encontraram aumento nos teores de Mg nas camadas superficiais do solo por meio da aplicação de corretivo, assim como Rodighero et al. (2015), que também obtiveram aumento nos teores de Mg com as doses de corretivo aplicadas na superfície em SPD, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho de pesquisa.

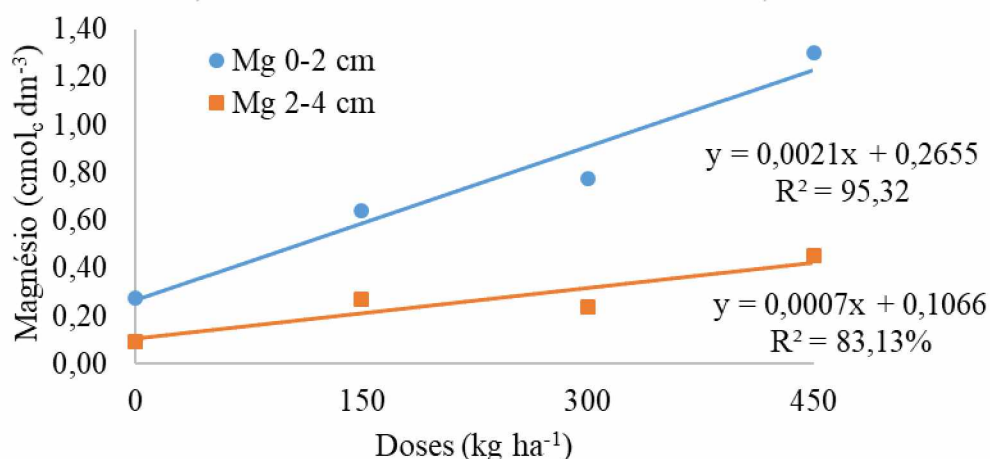


Figura 4 – Teor de magnésio trocável (Mg) no solo ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) nas profundidades 0-2 e 2-4 cm, em função da aplicação das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO) abaixo da palhada, em solo argiloso.

Do ponto de vista químico, um solo é considerado ácido quando seu pH está abaixo de 7,0. Nele a relação de equilíbrio ácido-base tem comportamento semelhante a um ácido fraco, cujo potencial de reposição de  $\text{H}^+$  para solução é muito superior à sua atividade nessa solução (SOUSA et al., 2007). O milho se desenvolve bem em solos com pH próximo da neutralidade, embora existam materiais genéticos mais tolerantes às condições de acidez (BÜLL; CANTARELLA, 1993; BARROS; CALADO, 2014).

Em relação à acidez ativa (pH em  $\text{H}_2\text{O}$ ) no solo arenoso, observa-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em função das doses do corretivo analisada (Figura 5) e interação ( $p < 0,05$ ) entre os modos de aplicação e as profundidades avaliadas para ambos os solos estudados (Tabela 9).

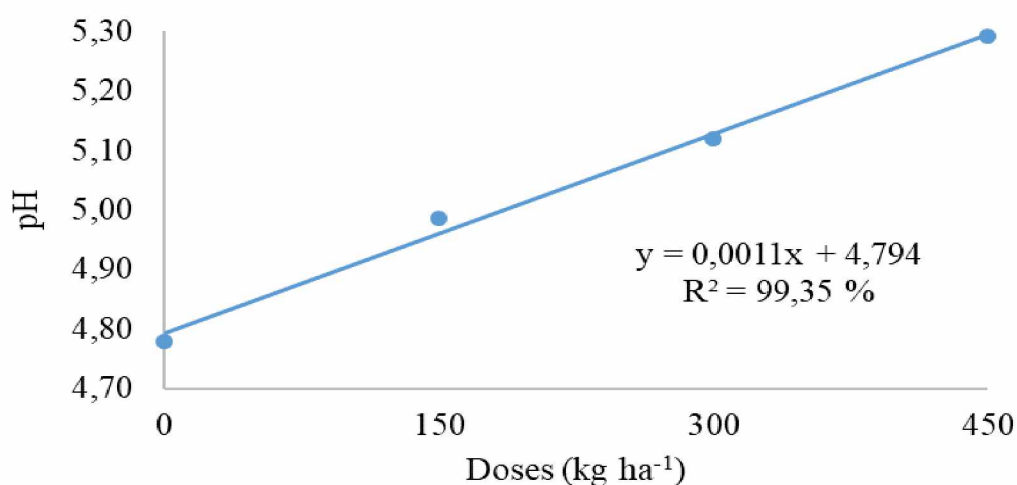


Figura 5 - Acidez ativa no solo (pH em  $\text{H}_2\text{O}$ ) em função das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO), em solo arenoso.



Nota-se que, de maneira geral, a aplicação realizada abaixo da palha proporcionou os maiores valores de pH em H<sub>2</sub>O, nas camadas mais superficiais (0 a 4 cm), nestes dois solos e, independente do modo de aplicação, os maiores valores de pH foram observados na camada de 0 a 2 cm, tanto no solo arenoso quanto no argiloso (Tabela 9).

Com a aplicação do corretivo constata-se um aumento do pH no solo arenoso (Tabela 9) com a formação de gradiente de alcalinização no perfil desse solo. Segundo Sousa et al. (2007), o pH neste solo, sob o ponto de vista agrônômico, é considerado baixo e o nível de acidez considerado médio, sendo considerado adequado na camada de 0 a 2 cm. Para o solo argiloso nota-se acidez média e pH baixo, independente do modo de aplicação (Tabela 9).

Tabela 9 – Acidez ativa no solo (pH em H<sub>2</sub>O), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
Abaixo	6,43 Aa	5,31 Ab	4,88 Ac	4,63 Acd	4,61 Ad	5,17
Acima	6,01 Ba	5,19 Bb	4,88 Ac	4,70 Ac	4,69 Ac	5,09
Média	6,22	5,25	4,88	4,67	4,65	
CV = 3,70 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,11		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,25			
Doses						
150	5,87	5,02	4,82	4,63	4,60	4,99
300	6,28	5,22	4,83	4,65	4,62	5,12
450	6,52	5,52	4,98	4,72	4,73	5,29
Média	6,22	5,25	4,88	4,67	4,65	
CV = 3,70 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,31					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	6,03 Aa	5,26 Ab	4,86 Ac	4,69 Ac	4,83 Ac	5,13
Acima	5,70 Ba	5,07 Bb	4,80 Abc	4,78 Ac	4,99 Abc	5,07
Média	5,87	5,16	4,83	4,73	4,91	
CV = 4,15 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,18		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,28			
Doses						
150	5,53	5,07	4,72	4,67	4,82	4,96
300	5,97	5,20	4,90	4,67	4,93	5,13
450	6,10	5,22	4,87	4,87	4,98	5,21
Média	5,87	5,16	4,83	4,73	4,91	
CV = 4,15 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,35					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Ainda em relação ao pH em H<sub>2</sub>O no solo de textura arenosa, observa-se pela análise de regressão (Figura 5), que a reta para os valores do potencial hidrogeniônico em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo linear. Assim houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o pH foi de 5,29, sendo este o maior valor observado, havendo aumento de 10,6% em comparação ao controle 2 com aumento médio de 0,0011 para cada kg do corretivo aplicada.

A aplicação de corretivos de acidez na superfície do solo no SPD tem sido eficaz em reduzir a acidez do solo, principalmente nas camadas mais superficiais até 10 cm (MOREIRA et al., 2001; AMARAL et al., 2004; KAMINSKI et al., 2005; COSTA, 2015). Igualmente para Corrêa et al. (2009), os índices de acidez do solo foram favorecidos mediante a aplicação superficial de corretivos em SPD.

Os valores de pH em água apresentam maior variabilidade entre repetições, porém a adição de eletrólito CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O pode diminuir essa variabilidade, sendo a concentração próxima da solução do solo em condições de campo (SOUSA et al., 2007).

Semelhantemente ao pH em H<sub>2</sub>O, nota-se que, para o solo arenoso, houve interação ( $p < 0,05$ ) entre os modos de aplicação e as profundidades analisadas em relação ao pH em CaCl<sub>2</sub> (Tabela 10), onde, assim como observado na Tabela 9, a aplicação realizada abaixo da palha proporcionou os maiores valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, nas camadas de 0 a 2 e 2 a 4 cm (Tabela 10) e, em relação às profundidades, os maiores valores de pH foram observados na camada de 0 a 2 cm, independente da aplicação do corretivo abaixo ou acima da palhada, diminuindo em profundidade (Tabela 10).

Houve aumento no pH em ambos os solos (Tabela 10), apesar disso para o solo arenoso constatou-se um pH classificado como muito baixo, tanto para a aplicação da fonte abaixo quanto acima da palha e para o solo argiloso, baixo (SOUSA et al., 2007).

No que diz respeito ao solo argiloso (Tabela 10), os valores de acidez ativa neste solo diferenciaram-se ( $p < 0,05$ ) com relação aos modos de aplicação e as profundidades estudadas. A aplicação abaixo da palha proporcionou os maiores valores de pH em CaCl<sub>2</sub>, sendo o maior valor encontrado na camada de 2 a 4 cm com os menores valores observados nas camadas que vão de 6 a 12 cm (Tabela 10).

Tabela 10 – Acidez ativa no solo (pH em CaCl<sub>2</sub>), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
Abaixo	5,78 Aa	4,37 Ab	3,97 Ac	3,82 Ac	3,87 Ac	4,36
Acima	5,29 Ba	4,22 Bb	3,97 Abc	3,89 Abc	3,91 Ac	4,26
Média	5,53	4,29	3,97	3,86	3,89	
CV = 5,51 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,13		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,32			
Doses						
150	5,15	4,08	3,88	3,77	3,83	4,14
300	5,62	4,22	3,90	3,88	3,90	4,30
450	5,83	4,58	4,12	3,92	3,93	4,48
Média	5,53	4,29	3,97	3,86	3,89	
CV = 5,51 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,10					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	5,31	7,02	4,80	3,93	4,06	5,02 A
Acima	5,09	7,00	4,76	3,99	4,09	4,98 B
Média	5,20 b	7,01 a	4,78 bc	3,96 c	4,07 c	
CV = 18,02 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,26		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,85			
Doses						
150	4,93	6,83	5,05	3,95	4,05	4,96
300	5,33	7,28	4,08	3,97	4,07	4,95
450	5,33	6,92	5,20	3,97	4,10	5,10
Média	5,20	7,01	4,78	3,96	4,07	
CV = 18,02 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,39					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Com relação ao pH em CaCl<sub>2</sub> no solo de textura arenosa, observa-se pela análise de regressão (Figura 6), que a reta para os valores do potencial hidrogeniônico em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo linear. Assim houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o pH foi de 4,48 e se obteve neste ponto o maior valor de pH, havendo aumento de 13,7% em comparação ao controle 2 com aumento médio de 0,0012 para cada kg do corretivo aplicada.

Rodrighero et al. (2015) também observou interação significativa entre doses e fontes de corretivo e aumento linear para o pH do solo em CaCl<sub>2</sub> (Figura 6), quando as doses foram aplicadas na superfície. Eficiência da aplicação superficial de corretivos na correção da acidez de camadas superficiais do solo tem sido observada em vários

estudos realizados em SPD (RHEINHEIMER et al., 2000; MOREIRA et al., 2001; KAMINSKI et al., 2005; CAIRES et al., 2006; PAULETTI et al., 2014).

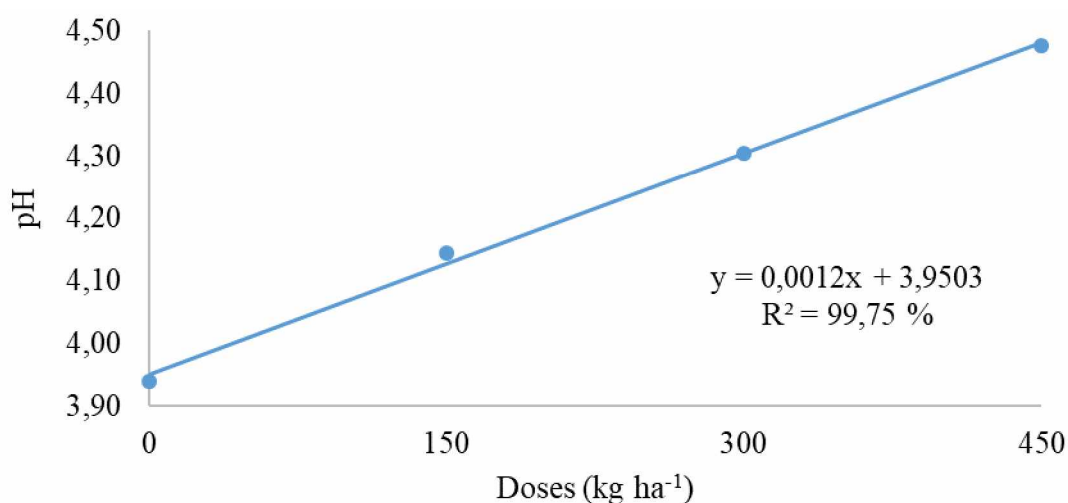


Figura 6 - Acidez ativa no solo (pH em CaCl<sub>2</sub>) em função das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO), em solo arenoso.

De acordo com Sousa et al. (2007), a concentração de H<sup>+</sup> na solução do solo, mesmo com valores baixos de pH, não é fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas, desde que haja suprimento adequado dos nutrientes e ausência de elementos em concentrações tóxicas. Entretanto essa situação não acontece naturalmente nos solos, pois, em condições ácidas, podem ocorrer íons, como Al<sup>3+</sup> e Mn<sup>2+</sup>, em teores tóxicos para as plantas. A acidez do solo pode interferir, também, na disponibilidade de alguns nutrientes e na atividade dos microrganismos.

Nwachuku; Loganathan (1991) avaliaram que o rendimento do milho é altamente correlacionado com a saturação de Al<sup>3+</sup> e com a saturação de Ca no solo, mas não ao pH, evidenciando que a acidez ativa não tem papel muito importante no efeito direto na planta. Dessa forma, solos que contêm teores elevados de Al<sup>3+</sup>, associados ou não à presença de Mn<sup>2+</sup>, em condições de acidez elevada, podem apresentar limitações ao bom desenvolvimento da planta. A saturação por Al<sup>3+</sup> na CTC efetiva do solo é um indicador do grau de toxidez do Al<sup>3+</sup> para as plantas. Assim se dois solos tem o mesmo teor de Al<sup>3+</sup>, naquele com maiores teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e, portanto, menor a saturação por Al<sup>3+</sup>, a toxidez para as plantas será menor (ALVAREZ et al., 2007).

No presente estudo, houve redução nos teores de Al<sup>3+</sup>, tanto no solo arenoso quanto no argiloso, representando mudança de classe, do nível crítico (médio) para níveis baixos (CFSEMG, 1999) conforme a Tabela 11 demonstra.

Tabela 11 – Teor de alumínio no solo, submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.						
Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	0,07 Aa	0,23 Bb	0,43 Ac	0,57 Ad	0,55 Ad	0,37
Acima	0,11 Aa	0,33 Ab	0,45 Ac	0,54 Ad	0,54 Ad	0,39
Média	0,09	0,28	0,44	0,56	0,55	
CV =16,26%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,04		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,08			
Doses						
150	0,11	0,36	0,50	0,59	0,60	0,43
300	0,11	0,29	0,48	0,56	0,55	0,40
450	0,05	0,19	0,35	0,52	0,49	0,32
Média	0,09	0,28	0,44	0,56	0,55	
CV = 16,26 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,08					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	0,02	0,15	0,50	0,48	0,29	0,29
Acima	0,02	0,24	0,49	0,44	0,29	0,30
Média	0,02 a	0,19 b	0,50 c	0,46 c	0,29 b	
CV = 35,9%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,8		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,10			
Doses						
150	0,03	0,23	0,58	0,47	0,34	0,33
300	0,01	0,19	0,51	0,47	0,28	0,29
450	0,02	0,17	0,40	0,43	0,26	0,25
Média	0,02	0,19	0,50	0,46	0,29	
CV = 35,9 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,17					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Observa-se ainda, que houve diferenças ( $p < 0,05$ ) em função das doses aplicadas (Figura 7) e interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as diferentes profundidades e os modos de aplicação da fonte contendo CaO e MgO (Tabela 11). Quando esta fonte foi aplicada abaixo da palha, foi obtido o menor teor de  $Al^{3+}$  no solo na camada de 2 a 4 cm, sendo que, independente do modo de aplicação, percebe-se um gradiente no perfil do solo, onde os menores teores foram observados na camada de 0 a 2 cm (Tabela 11).

Verifica-se que a corretivo proporcionou, assim, redução do Al tóxico no solo (Figura 7), assim como obtido por Caires et al. (2006), que observaram redução do  $Al^{3+}$  do solo até a profundidade de 10 cm. Quando corretivos são aplicados em superfície em SPD, menores volumes de solo são atingidos, concentrando-se assim seu efeito inicial nas primeiras camadas superficiais e com o tempo de cultivo os valores das camadas subsuperficiais tendem a aumentar (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998).

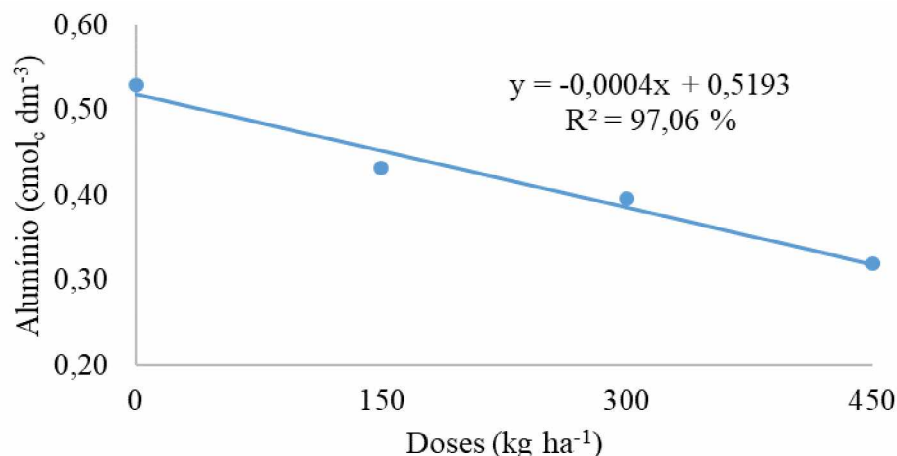


Figura 7 – Teor de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) no solo ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) em função das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO), em solo arenoso.

Observa-se que a reta para os teores de Al no solo arenoso em função das doses aplicadas, ajustou-se a um modelo linear negativo (Figura 7). Assim houve decréscimo nos teores de Al com o aumento das doses do corretivo, até a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o teor foi de  $0,32 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e se obteve o mínimo teor de Al. O decréscimo médio nos teores foi de  $0,0004 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para cada kg do corretivo. Na ausência de aplicação foram obtidos os maiores teores do elemento ( $0,53 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ). Com a aplicação do produto a redução foi de 39,6% entre os tratamentos na ausência e na maior dose aplicada ( $450 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Para o solo argiloso houve diferenças ( $p < 0,05$ ) no teor de  $\text{Al}^{3+}$  no perfil do solo (Tabela 11), onde o menor teor encontrava-se na camada superficial (0 a 2 cm), tendo os maiores teores concentrados nas camadas que iam de 4 a 8 cm no perfil estudado.

A acidez potencial é a que limita o crescimento das raízes e ocupa espaços nos coloides possibilitando que os nutrientes livres na solução do solo sejam lixiviados e, conceitualmente, é a quantificação da acidez potencial do solo que representa a quantidade de base necessária para neutralizá-la e caracteriza o poder tampão de acidez do solo (KAMINSKI et al., 2002; SILVA, 2005). No presente estudo todos os valores de H+Al (Tabela 12) foram considerados baixo (CFSEMG, 1999).

Assim, no que concerne à acidez potencial (Tabela 12), houve interação ( $p < 0,05$ ) entre doses, modo de aplicação e profundidades para o solo arenoso. Nota-se que na profundidade de 4 a 6 cm, quando aplicada à dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  abaixo da palha, obteve-se o menor teor de H+Al e o mesmo foi observado quando a aplicação foi realizada acima da palha, com a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , para esta profundidade. Também,

na camada de 6 a 8 cm a aplicação desta dose acima da palha contribuiu para a obtenção do menor teor de H+Al nesta porção do perfil analisado. Ademais notadamente os menores teores de Al neste solo foram localizados na camada correspondente a 0 a 2 cm do perfil do solo, independente do corretivo ter sido aplicada abaixo ou acima da palha (Tabela 12).

Tabela 12 – Teor de acidez potencial (H+Al) no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Tratamentos		Profundidade (cm)					Média
Aplicação	Doses	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO							
----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
Abaixo	150	1,50 Aa	2,00 Ab	2,13 Bb	2,20 Ab	2,17 Ab	2,00
Acima	150	1,50 Aa	2,20 Ab	2,70 Ab	2,20 Ac	2,00 Ab	2,12
Abaixo	300	1,13 Aa	2,03 Ab	2,33 Ab	2,17 Ab	2,00 Ab	1,93
Acima	300	1,43 Aa	2,13 Abc	2,47 Ac	2,27 Abc	1,93 Ab	2,05
Abaixo	450	1,20 Aa	1,70 Ab	2,20 Ac	2,47 Ac	2,07 Abc	1,93
Acima	450	1,23 Aa	1,73 Ab	1,77 Bb	2,10 Bb	1,90 Ab	1,75
Média		1,30	1,96	2,29	2,24	1,98	
CV = 9,42 %		DMS <sub>aplicação</sub> = 0,33		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,43			
SOLO ARGILOSO							
Abaixo		1,01	1,02	1,10	1,29	1,34	1,15 A
Acima		1,04	1,08	1,20	1,33	1,34	1,20 A
Média		1,03 a	1,05 ab	1,15 b	1,31 c	1,34 c	
CV = 10,55 %		DMS <sub>aplicação</sub> = 0,05		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,12			
Doses							
150		1,10	1,05	1,18	1,32	1,38	1,21
300		1,00	1,08	1,12	1,33	1,33	1,17
450		0,98	1,02	1,15	1,28	1,32	1,15
Média		1,03	1,05	1,15	1,31	1,34	
CV = 10,55%		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,20					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Além disso no solo de textura arenosa (Tabela 12) houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as doses, quando aplicadas abaixo da palha, nas diferentes profundidades para os teores de H+Al neste solo. Analisando-se a regressão da Figura 8, observa-se que a reta para os valores de acidez potencial em função das doses ajustou-se a um modelo linear negativo para a profundidade de 2 a 4 cm e quadrática negativa para a profundidade de 0 a 2 cm.

Dessa forma houve decréscimo nos teores de H+Al, na profundidade de 2 a 4 cm (Figura 8) com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o teor de H+Al foi de 1,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e se obteve o mínimo valor de acidez potencial. O decréscimo médio nos teores foi de 0,0011 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para cada kg do corretivo. Na ausência de aplicação foram obtidos os maiores teores (2,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Com a aplicação desta fonte, a redução foi de 25% entre os tratamentos na ausência e na maior dose aplicada (450 kg ha<sup>-1</sup>).

Já para a profundidade de 0 a 2 cm (Figura 8) houve decréscimo nos teores de H+Al com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 367 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual se obteve o teor mínimo, sendo este de 1,13 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Após essa dose houve incremento nos valores de acidez potencial, que atingiu valor de 1,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, na maior dose avaliada de 450 kg ha<sup>-1</sup>.

Os teores de H+Al no solo argiloso (Tabela 12) diferiram (p<0,05) quanto as diferentes profundidades avaliadas, onde os menores teores foram obtidos na camada de 0 a 2 cm e os maiores teores nas camadas abrangendo as profundidades de 6 a 12 cm no perfil do solo (Tabela 12), independente do modo de aplicação.

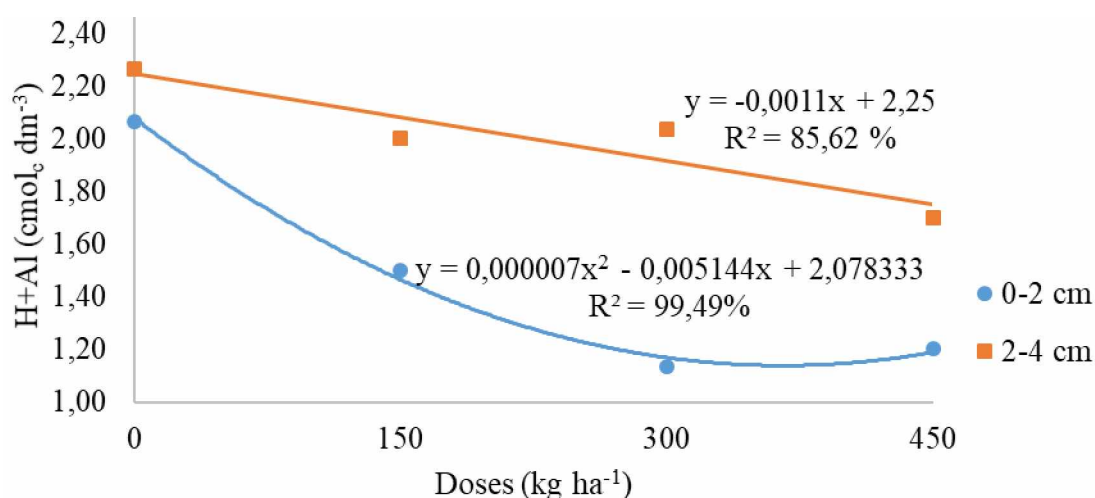


Figura 8 – Teor de acidez potencial (H+Al) no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0-2 e 2-4 cm em função da aplicação das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO) abaixo da palhada, em solo arenoso.

Da mesma forma para a acidez potencial (Tabela 12) no solo de textura arenosa houve interação significativa (p<0,05) entre as doses aplicadas acima da palha nas diferentes profundidades. Analisando-se a regressão da Figura 9, observa-se que a reta para os valores de acidez potencial ajustou-se a um modelo linear negativo para as profundidades 0 a 2; 2 a 4 e 4 a 6 cm.



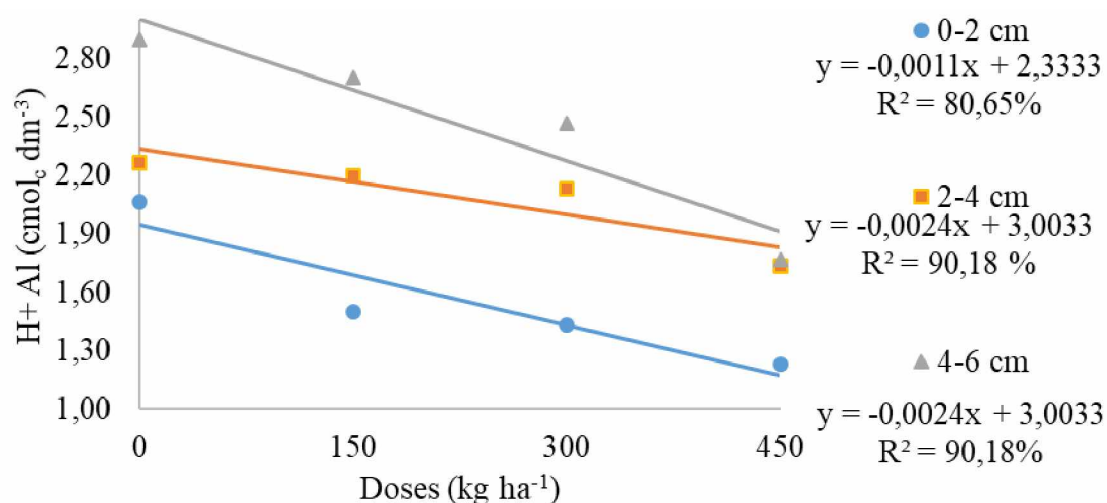


Figura 9 – Teor de acidez potencial (H+Al) no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0-2, 2-4 e 4-6 cm, em função da aplicação das doses do corretivo (60% de CaO e 30% de MgO) acima da palhada, em solo arenoso.

Assim houve decréscimo nos teores de H+Al, na profundidade de 0 a 2 cm (Figura 9) com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o teor de H+Al foi de 1,23 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e se obteve o mínimo valor de acidez potencial. O decréscimo médio nos teores foi de 0,0011 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para cada kg do corretivo. Na ausência de aplicação foram obtidos os maiores teores (2,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Com a aplicação do produto, a redução foi de 40% entre os tratamentos na ausência e na maior dose aplicada (450 kg ha<sup>-1</sup>).

Com relação à profundidade 2 a 4 cm (Figura 9) com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, onde o teor de H+Al foi de 1,73 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, se obteve o mínimo valor de acidez potencial. O decréscimo médio nos teores foi de 0,0024 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para cada kg do corretivo. Na ausência de aplicação foram obtidos os maiores teores (2,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Com a aplicação do produto, a redução foi de 23,8% entre os tratamentos na ausência e na maior dose aplicada (450 kg ha<sup>-1</sup>).

Já para a profundidade 4 a 6 cm (Figura 9) com o aumento das doses do corretivo, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, onde o teor foi de 1,77 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, se obteve o mínimo valor de acidez potencial. O decréscimo médio nos teores foi de 0,0024 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para cada kg do corretivo. Na ausência de aplicação foram obtidos os maiores teores (2,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Com a aplicação desta fonte, a redução foi de 39% entre os tratamentos na ausência e na maior dose aplicada (450 kg ha<sup>-1</sup>).

Apesar dos resultados alcançados neste estudo, é importante ressaltar que o manejo adequado das adubações envolve um complexo processo de tomada de decisão, onde estão envolvidas características do solo e da cultura, tipo de clima, tipo de rotação ou sucessão de culturas, dentre outros. Avaliados esses aspectos, parte-se para a definição das fontes e doses dos nutrientes a serem aplicados, definindo-se as épocas e procurando adaptar novos sistemas de adubação e manejo da fertilidade do solo, pensando no sistema como um todo em detrimento da adubação focada apenas nas culturas individualmente.

#### **4 CONCLUSÕES**

A aplicação do corretivo contendo 60% de CaO e 30% de MgO em solo arenoso cultivado com milho, em condições de casa de vegetação, altera a produção de massa de matéria seca da parte aérea, diâmetro do colmo e altura das plantas de milho; assim como a acidez ativa e potencial e os teores de cálcio, magnésio e alumínio no solo para ambos os solos.

De maneira geral a aplicação do corretivo abaixo da palha proporcionou resultados superiores em detrimento da aplicação acima desta.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- AMARAL, A.F.C. **Comportamento *in vitro* de explantes de matrizes de cenoura (*Daucus carota* L.) tratadas com variáveis níveis de potássio**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2003.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.936-941, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000400013>
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 1, p.115-123, 2004.
- ARAÚJO, F. F. de. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 355-360, 2011.
- BATISTA, L.F.; BATISTA, R.A.B. Efeito do cálcio e do pH do solo na absorção de manganês, ferro e fósforo e na produção do milho (*Zea mays* L.). **Agropecuária Técnica**, Areia, v.2. n.1, p. 31-39, 1981.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Évora, 2014. 52f. Material de apoio. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BRAUNER, J.L., GARCEZ, J.R.B. Lixiviação de potássio, cálcio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul submetidos à calagem, avaliada em condições de laboratório. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.6, p.89-93, 1982.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds.) **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p.63-145.

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**, Viçosa, v.30, n. 1, p.87-98, 2006.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, 2002.

CAIRES, E.F.; MADRUGA, E.F.; CHUEIRI, W.A., FIGUEIREDO, A. Alterações das características químicas do solo e respostas da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n. 1, p.27-34, 1998.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ed. Lavras, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Milho**. 2017. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 dez 2017.

CORRÊA, J. C.; FREITAS, E. E.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; MARCELINO, R. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1059-1068, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000400027>

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

COSTA, C. H. M. da. **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração**: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi. 2015. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu. 2015.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; FERREIRA, P. A.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, A. T. da; FIGUEIREDO, G. C. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 6, p.2493-2504, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETTO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Base de dados FAOSTAT**, 2017. Disponível em <<http://apps.fao.org>>. Acesso em: 15 out. 2017.

GARGANTINI, H.; MELLO, F.A.F.; ARZOELA, S. Efeitos da calagem sobre os teores de cálcio mais magnésio de perfis de solos de cerrado. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v.39, p.1115-1136, 1982.  
<https://doi.org/10.1590/S0071-12761982000200026>

HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility. I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yields. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 145-148, 1962.  
<https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400020016x>

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D.S., GATIBONI, L.C., MARTINS, J.R., SANTOS, E.J.S., TISSOT, C.. Estimativa da acidez potencial em solo e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n. 4, p. 925-930, 2002.

KAMINSKY, J.; SANTOS, D. R. dos; CATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. da. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final dos grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1747-1754, 1990.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; PORTO FILHO, F. Q.; GHEYI, R. H.; MEDEIROS, J. F. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 292-295, 2005.

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

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C. PROCHNOW, L.I. & PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade do milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.71-81, 2001.

NORUŠIS, M. J. **IBM SPSS Statistics 19 Statistical Procedures Companion**, Addison Wesley, 2011.

NWACHUKU, D.A.; LOGANATHAN, P. The effect of liming on maize yield and soil proprieties in Southern Nigeria. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres, v.22, p.623-639, 1991. <https://doi.org/10.1080/00103629109368443>

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, [S.L.], v.38, p.47-57, 1996.  
[https://doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01021-5)

ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2017). **Nações Unidas do Brasil**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/>. Acesso em: 20 dez. 2017.

PADILLA, I.Y.; JIM YEH, T.C.; CONKLIN, M.H. The effect of water content on solute transport in unsaturated porous media. **Water Resource**, [s.l.], n. 35, p.3303-3313. 1999. <https://doi.org/10.1029/1999WR900171>

PAULETTI, V.; DE PIERRI, 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**, Viçosa, v. 38, p. 495-505, 2014.

PEIXOTO, C. M. **O milho no Brasil, sua importância e evolução**, 2014. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/165/o-milho-no-brasil-sua-importancia-e-evolucao>. Acesso: 15 dez. 2017.

PINHEIRO, R.B. **Mobilidade de nitrato em resposta a propriedades eletroquímicas de solos com carga variável**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

POSSAMAI, J.M.; SOUZA, C.M.; GALVÃO, J.C.C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 79-82, 2001.  
<https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000200003>

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407p.

QAFOKU, N.P.; SUMNER, M.E; RADCLIFFE, D.E. Anion transport in columns of variable charge subsoils: nitrate and chloride. **Journal Environmental Quality**, [s.l.], n. 29, p. 484-493. 2000. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900020017x>

RECHCIGL, J.E.; WOLF, D.D.; RENEAU, R.B.; KROONTJE, W. Influence of surface liming on the yield and nutrient concentration of alfalfa established using no-tillage techniques. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 956-959, 1985.  
<https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700060028x>



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**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000200011>

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1723-1736, 2015.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SÁ, J.C.M. Sistema de produção de milho visando alta produtividade na região dos campos gerais no centro-sul do Paraná. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.) **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 249-279.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; GRACIETTI, M.A.; BIANCHET, P. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.1, n.2, p.60-66, 2002.

SCHUMMAN, L.M. Phosphate and nitrate movement through simulated golf greens. **Water Air Soil Pollution**, [s.l.], n.129, p.305-318, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010303025998>

SCIVITTARO, W. B. Nutrição, correção do solo e adubação. In: PARFITT, J.M.B. (Ed). **Produção de milho e sorgo em várzea**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2000. 146p. (Documentos, 74).

SHIPTALO, M.J.; DICK, W.A.; EDWARDS, W.M. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. **Soil Tillage Research**, [s.l.], v.53, n.3, p.167-183, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00104-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00104-X)

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p. 71-78, 2002. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p71-78>

SILVA, M. Z. **A acidez potencial do solo não é determinada a pH 7,0**. 2005. 34 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

SOPRANO, E.; ALVAREZ, V.H. Nutrientes lixiviados de colunas desolo tratados com diferentes sais de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, n.1, p.25-29, 1989.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. G.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 820 p.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 360 p.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Eds.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

VITTI, G.C.; MUNOZ, A. I.; NILSON, C. G.; ZAVASCHI, E. Nutrição e adubação do milho. In: FANCELLI, A. L. (Ed.) **Milho: produção e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011, p. 147-166.

### CAPÍTULO 3

#### MANEJO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO CALCINADO ENRIQUECIDO COM ENXOFRE NA CULTURA DO MILHO, SOB COBERTURA VEGETAL

**RESUMO:** A correção do solo apresenta-se como ponto chave na obtenção de sistemas altamente produtivos, como prática de uso generalizado de correção de acidez do solo e fornecimento de nutrientes, sendo de extrema importância estudos dessa prática no sistema plantio direto, onde não há a incorporação dos corretivos ao solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de um corretivo contendo cálcio, magnésio e enxofre, na cultura do milho, em dois tipos de solo com palhada, avaliando diferentes manejos de aplicação. Foram realizados dois experimentos distintos (testes biológicos) em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, utilizando-se dois solos com texturas diferentes, sendo um arenoso e outro argiloso, classificados como Neossolo Quartzarênico órtico típico e Latossolo Vermelho distrófico típico, respectivamente. Foram utilizados vasos de 20 kg e a variedade de milho DKB390 VT PRO. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos consistiram de três doses (150, 300 e 450 Kg ha<sup>-1</sup>), em dois modos de aplicação: sob e sobre a palhada, com dois adicionais: sem utilização de palhada (controle 1) e com palhada (controle 2), ambos sem aplicação do corretivo com enxofre. Para a análise vegetal, foi utilizado um arranjo fatorial triplo com dois adicionais e para a análise química do solo, foi realizado um arranjo fatorial triplo subdividido com dois adicionais, onde foram avaliadas ainda, cinco profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm). Durante todo o experimento foi simulada uma chuva de 250 mm acumulado. Foram avaliados: diâmetro de colmo; altura de planta; massa de matéria seca de parte aérea; teores de cálcio, magnésio e enxofre foliares e parâmetros químicos do solo. Foram testadas as pressuposições estatísticas dos dados obtidos, os quais foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey e teste de Dunnett, ambos a 0,05 de significância. Os dados significativos para o fator quantitativo (doses) foram submetidos à análise de regressão. A aplicação do corretivo com enxofre, em condições de casa de vegetação, altera o teor de enxofre na parte aérea do milho cultivado em solo arenoso e o teor de magnésio na parte aérea do milho cultivado em solo argiloso. A aplicação do corretivo com enxofre em ambos os solos altera a acidez ativa e potencial e os teores de cálcio, magnésio, enxofre e alumínio no solo. De maneira geral, a aplicação do corretivo com enxofre abaixo da palha proporcionou resultados superiores, em detrimento da aplicação acima desta.

**Palavras-chave:** cobertura vegetal; corretivo de acidez; fertilidade do solo; manejo de aplicação; nutrição vegetal; palhada; *Zea mays*

## MANAGEMENT OF THE APPLICATION OF CALCIUM, MAGNESIUM FERTILIZER ENRICHED WITH SULFUR IN THE CORN CROP, UNDER VEGETATION COVER

**ABSTRACT:** Soil correction is a key point in obtaining highly productive systems, such as the practice of widespread use of soil acidity correction and nutrient supply, being of extreme importance studies of this practice in the no-tillage system, where there is no incorporation to the ground. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of a calcium, magnesium and sulfur corrective in the corn crop in two types of soil with straw, evaluating different applications. Two distinct experiments (biological tests) were carried out in a greenhouse belonging to the Universidade Federal de Uberlândia, using two soils with different textures, being a sandy and one clayey, classified as Neossolo Quartzarênico órtico típico and Latossolo Vermelho distrófico típico, respectively. 20 kg vases and the DKB390 VT PRO maize variety were used. The experimental design was completely randomized, with three replications. The treatments consisted of three doses (150, 300 and 450 kg ha<sup>-1</sup>), in two modes of application: under and over straw, with two additional ones: without straw (control 1) and straw (control 2), both without application of the corrective with sulfur. For the plant analysis, a triple factorial arrangement with two additional was used and for the chemical analysis of the soil, a triple factorial arrangement subdivided with two additional was performed, where five depths (0-2, 2-4; 4 -6; 6-8 and 8-12 cm). During the whole experiment a cumulative 250 mm rain was simulated. The following were evaluated: stem diameter; plant height; mass of dry shoot matter; calcium, magnesium and foliar sulfur contents and soil chemical parameters. The statistical assumptions of the obtained data were tested, which were submitted to analysis of variance by Tukey test and Dunnett test, both 0.05 of significance. Significant data for the quantitative factor (doses) were submitted to regression analysis. The application of the sulfur corrective under greenhouse conditions alters the sulfur content in the aerial part of maize grown in sandy soil and the magnesium content in the aerial part of maize grown in clayey soil. The application of the sulfur corrective in both soils changes the active and potential acidity and the calcium, magnesium, sulfur and aluminum contents in the soil. In general, the application of the sulfur corrector under the straw provided superior results, to the detriment of the application above this.

**Keywords:** Plant cover; correction of acidity; soil fertility; management of application; plant nutrition; straw; *Zea mays*

## 1 INTRODUÇÃO

O milho é o cereal de maior volume de produção no mundo com aproximadamente 960 milhões de toneladas, sendo que os maiores produtores são Estados Unidos, China, Brasil e Argentina, representando 70% da produção mundial (CONAB, 2017). Sua importância econômica está relacionada às várias formas de utilização da alimentação animal a indústria de alta tecnologia. Além disso possui grande importância social no Brasil, principalmente porque grande parte dos produtores não são tecnificados, não possuem grandes extensões de terras e dependem de sua produção para viver (CRUZ et al., 2011).

Desta forma, apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 12 a 16 t ha<sup>-1</sup> de grãos, alcançadas no Brasil em condições experimentais e por agricultores altamente tecnificados, o que se observa na prática é que a produtividade média do país é muito baixa e irregular, sendo de 2,0 a 3,5 t de grãos ha<sup>-1</sup> (EVANGELISTA et al., 2010).

Considera-se que a fertilidade do solo seja um dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade das áreas destinadas tanto para a produção de grãos como de forragem. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado de calagem e adubações (VALDERRAMA et al., 2011).

Neste cenário para aumentos significativos de produção e produtividade no Brasil nos últimos anos, a cultura do milho sofreu mudanças tecnológicas importantes relacionadas à melhoria na qualidade dos solos. Esta melhoria está relacionada ao manejo adequado, que inclui plantio direto na palha, manejo de fertilidade, calagem, gessagem, adubação equilibrada, dentre outros (COELHO et al., 2010).

Com efeito a correção do solo apresenta-se como ponto chave na obtenção de sistemas altamente produtivos, uma vez que o elevado intemperismo decorrido ao longo dos processos de formação dos solos das principais regiões agrícolas brasileiras gera condições desfavoráveis à agricultura, como baixos teores de nutrientes e, principalmente, altos índices de acidez. Ainda, apresenta-se como prática indispensável à agricultura de alto rendimento, uma vez que proporciona correção da acidez do solo, fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e inúmeros outros benefícios, dentre os quais se destaca também a redução da toxidez de alumínio (Al) (ANASTÁCIO, 2015).

Embora a correção do solo possa ser realizada por vários corretivos, na prática, o mais usado é quase que exclusivamente o calcário. No entanto este é originado de rochas sedimentares com alto teor de carbonato de Ca ( $\text{CaCO}_3$ ) e carbonato de Mg ( $\text{MgCO}_3$ ), quando se trata de calcário magnesiano ou dolomítico. Já os óxidos de Ca e Mg não existem em forma natural, são derivados de um processo de calcinação de vários tipos de rochas, calcárias ou magnesianas.

No entanto, mesmo com garantias expressas em %CaO e %MgO, o calcário agrícola não contém óxidos de Ca e Mg, por não ser um produto calcinado. Essa diferença é importante, pois estes óxidos são bases fortes com maior poder alcalinizante. Sua solubilidade é 100 vezes maior do que a dos carbonatos. A consequência prática disso é a maior reatividade dos óxidos para se movimentar no perfil do solo, neutralizar a acidez e aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Isso é de extrema importância em sistema plantio direto (SPD), onde a aplicação superficial de corretivos, sem incorporação ao solo, está consolidada como prática de uso generalizado de correção de acidez do solo e fornecimento de nutrientes. A eficiência desta aplicação superficial na neutralização da acidez do solo na cultura do milho, têm tido, muitas vezes, respostas pouco expressivas em solos ácidos manejados nesse sistema (CAIRES et al., 2002).

Dessa maneira, a possibilidade de aliar em uma nova tecnologia, óxidos de Ca e Mg e ainda enxofre (S) elementar concentrados, que reaja imediatamente no perfil do solo, com nutrição efetiva destes elementos em uma única aplicação, com correção de acidez de solo e diminuição da toxicidade do Al, pode ser uma alternativa promissora para os agricultores fazerem o manejo desta nova tecnologia sob a palha na cultura do milho.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de um corretivo contendo Ca, Mg e S na cultura do milho em dois tipos de solo com palhada, avaliando diferentes manejos de aplicação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos distintos (testes biológicos), utilizando-se dois solos com texturas diferentes, sendo um arenoso e outro argiloso (Tabela 1), coletados em área de campo no município de Santa Vitória e na Fazenda Experimental do Glória, no município de Uberlândia, respectivamente, classificados segundo EMBRAPA (2013). Os solos foram coletados nas coordenadas 18° 53' 23,91" de Latitude Sul, 50° 00' 56,33" de Longitude Oeste e 496 m de altitude o solo arenoso e 18° 53' 04,91" de Latitude Sul, 58° 12' 22,63" de Longitude Oeste e 879 m de altitude o solo argiloso, na profundidade de 0 - 20 cm, posteriormente foi peneirado em malha de 4 mm e seco ao sol, os quais apresentam as seguintes características físicas e químicas (Tabelas 1 e 2) e posteriormente pesados 20 kg e adicionado aos vasos.

Tabela 1 – Granulometria dos solos utilizados nos experimentos.

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
(1) RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico	626	228	1	145
(2) LVd - Latossolo Vermelho distrófico típico	276	473	69	382

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 2011).

(1) Município de Santa Vitória, Minas Gerais; (2) Município de Uberlândia, Minas Gerais.

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais, situada a 18° 35' de Latitude Sul, 47° 52' de Longitude Oeste e 931 m de altitude. Como foram realizados em épocas distintas o solo arenoso foi conduzido no período compreendido entre 15 de junho de 2016, quando foi realizada a semeadura do milho e 11 de agosto de 2016, por ocasião da colheita, feita na fase V9. Com o solo argiloso, foi conduzido no período compreendido entre 17 de fevereiro de 2017, com a semeadura do milho e 11 de abril de 2017, no ato da colheita, realizada na fase V9.

Durante todo o período do experimento foi simulada uma chuva através de um sistema montado com mangueiras acima dos vasos e com bicos de aspersão em forma cilíndrica e sua vazão regulada uniformemente em toda a extensão do experimento. Com isso conseguiu-se uma simulação de chuva com intensidade de 2,14 mm por minuto com a intenção de fornecer água para o experimento e criar um mecanismo físico para a percolação da fonte através da palhada.

Tabela 2 - Caracterização química dos solos utilizados nos experimentos.

Solo	pH	P	K	S	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	H+Al	t	CTC	V	m	M.O
	H <sub>2</sub> O	- mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	%
RQo <sup>1</sup>	4,8	1,1	12	3	0,6	0,7	0,3	1,03	2,8	1,63	3,83	27	37	1,5
LVd <sup>2</sup>	4,3	0,3	20	2	0,5	0,3	0,1	0,45	4,2	0,95	4,65	9,7	53	2,3

P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); SB = Soma de bases; H+Al = SMP; t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0; V = Sat. por Bases; m = Sat. por Al. <sup>1</sup> Solo arenoso; <sup>2</sup> Solo argiloso.

Foram utilizados vasos com capacidade de 25 kg de solo (base maior = 0,75 x 0,20 m; base menor = 0,68 x 0,13 m e altura 0,19 m). Nos testes biológicos foram avaliado calcário calcinado, com 56,21% e 24,02% de CaO e MgO, respectivamente e enriquecido com 15,6% de S elementar, aplicados com diferentes manejos (Tabela 3).

Tabela 3 - Tratamentos realizados nos experimentos.

Tratamentos	Produto	Doses (Kg ha <sup>-1</sup> )	Doses (g vaso <sup>-1</sup> )	Aplicação
T01	Controle 1	0	0,00	SEM palha
T02	Controle 2	0	0,00	COM palha
T03	502515	150	2,25	ACIMA da palha
T04	502515	300	4,50	ACIMA da palha
T05	502515	450	6,75	ACIMA da palha
T06	502515	150	2,25	ABAIXO da palha
T07	502515	300	4,50	ABAIXO da palha
T08	502515	450	6,75	ABAIXO da palha

Os experimentos apresentaram um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, sendo que os tratamentos consistiram em um esquema fatorial duplo com mais dois adicionais (3 x 2 + 2) para os dados da parte aérea, sendo o fator 1 com três doses (150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup>) do corretivo, o fator 2 com dois modos de aplicação: sob e sobre a palhada, mais dois adicionais: sem utilização de palhada (controle 1) e com palhada (controle 2), ambos sem aplicação do corretivo. Para as análises química do solo foi realizado um arranjo fatorial triplo subdividido (3 x 2 x 5), onde foram avaliadas cinco profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm). Totalizando 24 parcelas.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de homogeneidade das variâncias de Levene, ambos a 0,01 de significância, com auxílio do programa SPSS (NORUŠIS, 2011). Em seguida, os dados foram submetidos a análises estatísticas utilizando-se os programas SISVAR (FERREIRA,



2014) e ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey e teste de Dunnett, ambos a 0,05 de significância. Os resultados para o fator quantitativo foram submetidos à análise de regressão polinomial (VIEIRA, 2008), considerando-se o controle 2 como a dose 0 (sem aplicação, com presença de palhada).

Antes da semeadura foram adicionados superficialmente ao solo 12,25 g de MAP; 6,82 g de nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) e 0,6 g de MI BR-12 contendo 9 % zinco (Zn), 2 % manganês (Mn), 1,8 % boro (B), 0,8 % cobre (Cu) e 0,1 % molibdênio (Mo), por vaso, incorporados manualmente em todas as parcelas, logo após a simulação de uma chuva de 10 mm. Posteriormente adicionados os tratamentos e 150 g de cobertura vegetal (palhada) por vaso, proveniente de cana-de-açúcar recém-colhida *in natura*, para simular uma cobertura de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , logo após a simulação de uma chuva de 12 mm.

As sementes foram semeadas após um acumulado de 60 mm de chuva simulada, utilizando-se a variedade de milho DKB390 VT PRO com seis sementes por vaso. A partir da emergência das plantas a irrigação foi acionada por um minuto por dia (2,14 mm). Em V2 foi feito o desbaste e mantido três plantas por vaso até a colheita, dez dias após a emergência houve um aumento da lâmina de água para quatro minutos por dia (8,55 mm) e foi mantido até o final do ciclo do experimento, totalizando o acumulado de 250 mm em 60 dias, baseando-se no índice pluviométrico do período da instalação da cultura na região.

Na fase V3, foi feito o 1ª adubação foliar em uma calda contendo 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Mn (50% de Mn); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Zn e Cu (15,9% de Zn; 63,0 de%. Cu); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de B (10% de B) e mais 0,5 mL de regulador de crescimento.

Na fase V4, foi feito a primeira cobertura com  $\text{KNO}_3$  em solução de 100 mL por vaso com a dose de 2 g por vaso, juntamente com o 2ª adubação foliar em uma calda contendo 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Mn (50% de Mn); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de Zn e Cu (15,9% Zn; 63,0%. Cu); 2 mL  $\text{L}^{-1}$  de B (10% de B).

A segunda cobertura com  $\text{KNO}_3$  (solução de 100 mL por vaso) com a dose de 3 g por vaso foi feita na fase V6. Foi realizada uma aplicação para controle de pulgão com Tiametoxam  $250 \text{ g kg}^{-1}$ , em uma dose de  $1 \text{ g L}^{-1}$  (simulando uma calda de 100 L, com uma dose de  $100 \text{ g ha}^{-1}$ ).

Na fase V8/V9, foram realizadas avaliações de diâmetro do colmo, utilizando-se paquímetro digital, medindo-se o diâmetro maior do colmo de todas as plantas das parcelas; altura de planta, com auxílio de régua graduada, medindo a planta da base até a inserção da última folha expandida; e massa de matéria seca (g) de parte aérea

(MSPA), na qual as plantas de cada tratamento foram seccionadas à altura do colo, separando-se a parte aérea das raízes . A parte aérea foi levada para estufa a 65°C, até atingir massa constante. Após 72 horas foi pesada em balança de precisão e teve extraídos seus teores de Ca, Mg e S, segundo EMBRAPA (2011). Ainda, foi coletado solo para análise dos parâmetros químicos, segundo EMBRAPA (2011), em camadas com diferentes profundidades (0-2; 2-4; 4-6; 6-8 e 8-12 cm), sendo três pontos de coletas em cada vaso.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão demonstrados os dados de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), diâmetro de colmo e altura de plantas de milho em função do manejo da aplicação de doses do corretivo com enxofre contendo 56,21% e 24,02% de CaO e MgO, respectivamente e 15,6% de S elementar em dois solos de texturas diferentes, sendo um argiloso e outro arenoso.

O conhecimento dos padrões normais de acúmulo de MSPA por uma cultura possibilita melhor entendimento dos fatores relacionados à nutrição mineral e, conseqüentemente, da adubação. Ainda, sabe-se que além das folhas, grande parte das reservas produzidas pela planta é armazenada nos colmos, fazendo com que esta relação de maior MSPA e maior diâmetro de colmo produza melhores condições de armazenagem e uma possível maior produção final, já que essas reservas são indispensáveis para o bom desenvolvimento da planta, principalmente na fase reprodutiva para suprir os drenos representados pelas espigas (BASI, 2013).

Ainda de acordo com Silva et al. (2006), para o mesmo material genético e as mesmas condições climáticas a altura da planta do milho é um parâmetro que expressa o desenvolvimento da cultura e tem correlação positiva com a produtividade. Ou seja, plantas maiores tendem a ser mais produtivas, provavelmente porque acumulam maiores quantidades de reservas no colmo. Portanto, a altura de plantas, associada ao diâmetro do colmo, mostram-se aspectos importantes para o rendimento da cultura.

Segundo Andreotti et al. (2001), maior diâmetro de colmo das plantas de milho a partir do estágio V6 pode ser correlacionado com maior espaço físico para o acúmulo de nutrientes absorvidos e fotoassimilados, produzidos durante a fase vegetativa, que serão utilizados na fase reprodutiva para o enchimento dos grãos, além de propiciar plantas resistentes ao acamamento e ao quebraamento.

Além disso, plantas de milho com maior estatura terão vantagens competitivas sobre as plantas daninhas, pois proporcionarão o sombreamento destas, reduzindo a sua taxa de crescimento e, conseqüentemente, diminuindo a competição por água, luz e nutrientes. Isso implicará menos roçadas, reduzindo os custos de produção do sistema (FREITAS et al., 2008).

Tabela 4 - Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), diâmetro de colmo e altura de plantas de milho em função do manejo de aplicação de doses de um corretivo, em solos de diferentes texturas.

Tratamentos		SOLO ARENOSO			SOLO ARGILOSO		
		APLICAÇÃO					
		Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	Média
MSPA							
----- g planta <sup>-1</sup> -----							
Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	150	26,59	14,11	20,35	5,21	12,12	8,66
	300	22,38	23,48	22,93	10,48	14,30	12,39
	450	26,26	20,92	23,59	14,98	6,76	10,87
Média		25,08	19,50		10,22	11,06	
Controle 1	Sem palha		23,22			13,28	
Controle 2	Com palha		18,41			5,88	
CV %			31,37			59,73	
DMS			6,88			2,99	
Diâmetro							
----- cm -----							
Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	150	1,46	1,31	1,38	1,03	1,20	1,11
	300	1,67	1,44	1,56	1,45	1,18	1,32
	450	1,50	1,46	1,48	1,44	1,01	1,22
Média		1,54	1,40		1,30	1,13	
Controle 1	Sem palha		1,36			1,31	
Controle 2	Com palha		1,34			0,79	
CV %			9,86			25,46	
DMS			0,14			0,29	
Altura							
----- m -----							
Doses (kg ha <sup>-1</sup> )	150	0,70	0,50	0,60	0,34	0,54	0,44
	300	0,57	0,58	0,58	0,44	0,58	0,51
	450	0,67	0,63	0,65	0,62	0,36	0,49
Média		0,65	0,57		0,46	0,49	
Controle 1	Sem palha		0,73			0,56	
Controle 2	Com palha		0,59			0,31	
CV %			15,25			32,91	
DMS			0,09			0,15	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Observa-se que não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) no presente estudo para o acúmulo de MSPA, diâmetro de colmo e altura de plantas de milho, cultivados em solo arenoso e argiloso, em função das doses e dos modos de aplicação do corretivo com enxofre (Tabela 4). No entanto a aplicação desta fonte proporcionou em média para ambos os solos, aumento de 45,3%, 33,3% e 23,3%, para MSPA, diâmetro de colmo e altura respectivamente, nos tratamentos em que houve a aplicação do corretivo com

enxofre abaixo da palha em relação a não aplicação desta (controle 2) e incremento de 25,8%, 18,8% e 17,8% na MSPA, diâmetro de colmo e altura de plantas respectivamente, nos tratamentos onde a aplicação foi feita acima da palha em relação à ausência de aplicação (controle 2).

Tsujigushi et al. (2013), também não observaram diferenças na MSPA e altura de milho com a aplicação de corretivo em SPD, assim como no presente estudo. Em contrapartida, Costa (2015) constatou que a produção de MSPA foi maior com a aplicação de corretivos superficialmente em SPD, contrastando com os resultados obtidos neste estudo.

Ademais, quando a aplicação foi realizada abaixo da palha, houve um incremento de 5,58 g planta<sup>-1</sup> (28,6%) na MSPA das plantas de milho cultivadas no solo arenoso e para o diâmetro de colmo, houve um aumento de 0,14 cm (10%) em média, no colmo das plantas cultivadas no solo arenoso e 0,17 cm (15%) para as cultivadas no solo argiloso; para a altura de plantas, houve um incremento de 0,07 m (14%) nas plantas sobre solo arenoso em detrimento das plantas que receberam o tratamento acima da palha.

Com relação às exigências nutricionais observa-se que a maior exigência da cultura é referente à N e K, seguido de Ca, Mg e P (RIBEIRO, 2016). O Ca, em geral, é o elemento que apresenta a terceira maior taxa de absorção pela planta de milho, mas em razão da sua baixa mobilidade na planta, não ocupa a mesma posição na exportação. No sistema o Ca é pouco móvel, principalmente, por lixiviação, contribuindo significativamente para o aumento de pH e redução no teor de alumínio (Al) no solo, os quais tem efeito marcante sobre a produção da planta de milho. Já o Mg é o quarto elemento mais absorvido pela planta de milho, entretanto, sua exportação é inferior ao P. A importância do Mg é semelhante ao Ca, sendo que a relação Ca e Mg ideal está entre três a cinco com reflexos, principalmente, sobre a absorção de K (CASTRO et al., 2008).

Nas Tabelas 5 e 6 estão relacionados os dados referentes aos teores de Ca e Mg, em função do manejo de aplicação de doses do corretivo com enxofre nos solos arenoso e argiloso.

Em relação aos teores de Ca na parte aérea de plantas de milho (Tabela 5), não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) em função das doses e modos de aplicação, tanto em solo arenoso quanto no argiloso. Já em relação aos teores de Mg, houve diferença ( $p<0,05$ ) apenas para os teores no solo argiloso (Tabela 6).

De acordo com Malavolta (2006), o teor de Ca na parte aérea do milho encontra-se adequado, estando dentro da faixa de suficiência considerada pela cultura, tanto no solo arenoso quanto no argiloso (Tabela 5). Já o teor de Mg no solo arenoso (Tabela 6) está abaixo do recomendado pela Malavolta (2006), enquanto no solo argiloso encontra-se na faixa adequada para a cultura (Tabela 6).

Tabela 5 - Teor ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de cálcio (Ca) na parte aérea de plantas de milho, em função do manejo de aplicação de doses de um corretivo, em solos de diferentes texturas.

SOLO	ARENOSO			ARGILOSO		
Tratamento	Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	Média
	----- $\text{g kg}^{-1}$ -----					
150	3,27	3,33	3,30	3,65	3,57	3,61
300	3,33	3,23	3,28	4,37	3,53	3,95
450	2,90	3,27	3,08	3,80	3,50	3,65
Média	3,17	3,28		3,94	3,53	
Controle 1	3,33			3,33		
Controle 2	3,23			3,40		
CV %	12,18			18,93		
DMS	0,39			0,69		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

O acúmulo de Mg ocorre paralelamente à matéria seca com máxima acumulação ocorrendo entre os estádios de florescimento e de grãos leitosos, mantendo-se constante até a maturação. Como o teor obtido neste estudo na MSPA foi baixo nas plantas cultivadas em solo arenoso (Tabela 6), corrobora com o fato de a porcentagem de Mg nas folhas e colmos do milho aos 60 dias ser o menor em todo o ciclo da cultura, coincidindo com a época de avaliação deste experimento (BÜLL; CANTARELLA, 1993).

Além disso, a aplicação superficial de corretivos é conhecida por influenciar positivamente a absorção de Ca e Mg nas culturas em SPD, uma vez que os produtos da dissociação do corretivo elevam a disponibilidade de Ca e Mg trocável no perfil do solo. Porém nota-se que os teores de Mg na parte aérea do milho cultivado no solo arenoso (Tabela 6) foram menores com a aplicação da fonte avaliada. Por esta fonte conter 15,6% de S elementar, assemelha-se ao gesso agrícola, que é um subproduto da fabricação de ácido fosfórico e possui em sua composição quantidades substanciais de S (16%). Assim, em razão da baixa CTC deste solo, houve menor disponibilidade de Mg

na zona explorada pelo sistema radicular, decorrente do provável processo de lixiviação do  $Mg^{2+}$  (Tabela 9), devido à dissolução do S, ocasionando o movimento do sulfato para camadas inferiores, como observado na Tabela 10, carreando o Mg, assim como observado por Quaggio et al. (1982); Rosolem; Machado (1984) e Costa (2015).

Tabela 6 - Teor ( $g\ kg^{-1}$ ) de magnésio (Mg) na parte aérea de plantas de milho, submetido a diferentes manejos de aplicação de doses de um corretivo, em solo de diferentes texturas.

SOLO		ARENOSO			ARGILOSO		
Tratamento	Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	Média	
----- $g\ kg^{-1}$ -----							
150	1,49	1,45	1,47	2,43*	2,48*	2,45	
300	1,25	1,62	1,43	2,66* +	2,38*	2,52	
450	1,35	1,51	1,43	2,81* +	2,69* +	2,75	
Média	1,36	1,53		2,63	2,51		
Controle 1	1,48			1,11*			
Controle 2	1,44			1,66 +			
CV %	28,95			17,81			
DMS	0,42			0,41			

\*Valores diferentes do controle 1 e + valores diferentes do controle 2, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Independente das doses e modos de aplicação os teores de Mg foram superiores no solo de textura argilosa em relação à não aplicação e sem a presença de palhada (Tabela 6). Ainda, quando a aplicação do corretivo com enxofre foi feita abaixo da palha com as dosagens de 300 e 450  $kg\ ha^{-1}$ , foram obtidos os maiores incrementos de Mg, em comparação com a não aplicação do corretivo com enxofre em solo com palhada. O mesmo comportamento foi observado quando aplicada a dose de 450  $kg\ ha^{-1}$  acima da palha (Tabela 6).

Aumento nos teores de Ca e Mg nas folhas de milho com a aplicação superficial de corretivo em SPD também foi observado por Caires et al. (2002), Castro; Crusciol (2013), Costa (2015) e Rodighero et al. (2015).

No que se refere aos teores de S na parte aérea de plantas de milho cultivadas no solo arenoso (Tabela 7), constata-se que houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as doses e modos de aplicação. Assim, quando aplicada à dosagem de 300  $kg\ ha^{-1}$  abaixo da palha, verificou-se o maior incremento deste elemento, sendo este superior ( $p < 0,05$ ) aos tratamentos que não receberam a aplicação do corretivo com enxofre, independente da presença de palhada (Tabela 7).

Tabela 7 - Teor (g kg<sup>-1</sup>) de enxofre (S) na parte aérea de plantas de milho, submetido a diferentes manejos de aplicação de doses de corretivo, em solos de texturas diferentes.

SOLO	ARENOSO			ARGILOSO		
Tratamento	Abaixo	Acima	Média	Abaixo	Acima	Média
	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
150	0,97	0,97	0,97	1,75 *	1,93 *	1,84
300	1,60 * <sup>+</sup> a	0,77 b	1,18	1,50	1,77 *	1,63
450	1,03	0,87	0,95	1,47	1,70 *	1,58
Média	1,20	0,87		1,57	1,80	
Controle 1	0,90 *			0,93		
Controle 2	0,90 <sup>+</sup>			1,70		
CV %	23,63			18,90		
DMS	0,41			0,30		

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. \*Valores diferentes do controle 1 e <sup>+</sup> valores diferentes do controle 2, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância.

Segundo Vitti et al. (2006), o S desempenha funções que determinam aumentos na produção e na qualidade do produto obtido, sendo componente dos aminoácidos cistina, metionina e cisteína, os quais são componentes da proteína, com 90% de S encontrado nas plantas. Também participa da composição das ferredoxinas, complexos enzimáticos envolvidos na fotossíntese, na fixação de N<sub>2</sub> e na formação da clorofila.

Já em relação aos teores de S na parte aérea das plantas cultivadas no solo argiloso, observa-se que, independente da dose do corretivo com enxofre aplicada, quando esta foi feita acima da palha e na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> aplicada abaixo da palha, houve um maior incremento nos teores deste elemento em relação a não aplicação e ausência de palhada (Tabela 7).

Ainda na Tabela 7, nota-se que todas as doses aplicadas abaixo da palha, em ambos os solos, e acima da palha no solo argiloso, proporcionaram teores de S adequados (MALAVOLTA, 2006) na parte aérea do milho e independente da dose, quando estas foram aplicadas acima da palha no solo arenoso, os teores de S ficaram abaixo da faixa de suficiência considerada por Malavolta (2006), devido, provavelmente, aos baixos teores observados neste solo, nas camadas intermediárias (Tabela 10).

Costa (2015) também obteve maiores teores foliares de S com a gessagem e a calagem associada ao gesso, estando dentro da faixa de suficiência considerada para o



milho, assim como Caires et al. (2001), Caires et al. (2002) e Soratto; Crusciol (2008) em cevada, trigo e aveia-preta, respectivamente.

Para os teores de Ca no solo arenoso (Tabela 8), verificou-se incremento significativo ( $p < 0,05$ ) em função da profundidade, na qual o maior incremento deste elemento no solo foi observado na camada de 0 a 2 cm, diminuindo em profundidade até a camada de 8 a 12 cm, onde foram encontrados os teores mais baixos neste solo.

Tabela 8 – Teor de cálcio (Ca) no solo solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	3,26	2,53	2,20	1,44	0,85	2,05
Acima	2,80	2,48	2,18	1,59	0,86	1,98
Média	3,03 a	2,50 b	2,19 b	1,52 c	0,85 d	
CV = 19,32 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,12		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,37			
Doses						
150	2,88	2,47	2,16	1,59	0,83	1,99
300	2,80	2,44	2,18	1,62	0,84	1,98
450	3,40	2,60	2,23	1,35	0,88	2,09
Média	3,03	2,50	2,19	1,52	0,85	
CV = 19,32%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,64					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	3,26	2,53	2,20	1,44	0,85	2,05
Acima	2,80	2,48	2,18	1,59	0,86	1,98
Média	3,03 a	2,50 b	2,19 b	1,52 c	0,85 d	
CV = 26,88%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,12		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,37			
Doses						
150	1,35 a	0,72 b	0,35 c	0,09 c	0,17 c	0,54
300	1,86 a	0,82 b	0,40 c	0,09 d	0,17 cd	0,67
450	1,83 a	0,89 b	0,43 c	0,13 d	0,19 cd	0,69
Média	1,68	0,81	0,39	0,11	0,18	
CV = 26,11%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,27					

Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Para o solo argiloso (Tabela 8) houve interação ( $p < 0,05$ ) entre profundidades e modo de aplicação, onde a aplicação do corretivo com enxofre abaixo da palha acarretou em maiores teores de Ca, na profundidade de 0 a 2 cm. Para as demais profundidades não houve diferenças ( $p > 0,05$ ) quanto ao modo de aplicação (Tabela 8). De modo geral, independente do modo de aplicação, os maiores teores de Ca foram constatados na camada de 0 a 2 cm, diminuindo em profundidade (Tabela 8).

De acordo com CFSEMG (1999), os teores de Ca no solo de textura arenosa, independente do modo de aplicação do corretivo com enxofre foram classificados como médio (Tabela 8). Em relação às profundidades avaliadas o teor de Ca nas camadas mais superficiais (0 a 4 cm) foi considerado como bom e à partir daí, as camadas de 4 a 8 cm foram classificadas como médio e a última camada como baixo, fazendo um gradiente de concentração no perfil do solo (Tabela 8).

Para o solo argiloso (Tabela 8), os teores de Ca foram considerados baixos, independente do modo de aplicação, tendo apenas a camada superficial (0 a 2 cm) classificada como médio, seguido por baixo (2 a 4 cm) e muito baixo (4 a 12 cm), de acordo com a CFSEMG (1999).

Ainda, para os teores de Ca no solo de textura argilosa, houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre doses e profundidade, nas quais, de modo geral, independente da dose os maiores teores foram observados na camada de 0 a 2 cm, diminuindo ao decorrer do perfil do solo (Tabela 8). Dessa forma, observa-se (Figura 1) que a curva para os teores de Ca no solo, na profundidade 0 a 2 cm, ajustou-se ao modelo quadrático, havendo incremento para os teores de Ca com o aumento das doses do corretivo com enxofre, até a dose de  $417 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual se obteve o teor de  $1,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e se atingiu o máximo incremento de Ca neste solo, correspondendo a um aumento de 125% em comparação ao controle 2. Após essa dose houve diminuição no teor desse elemento.

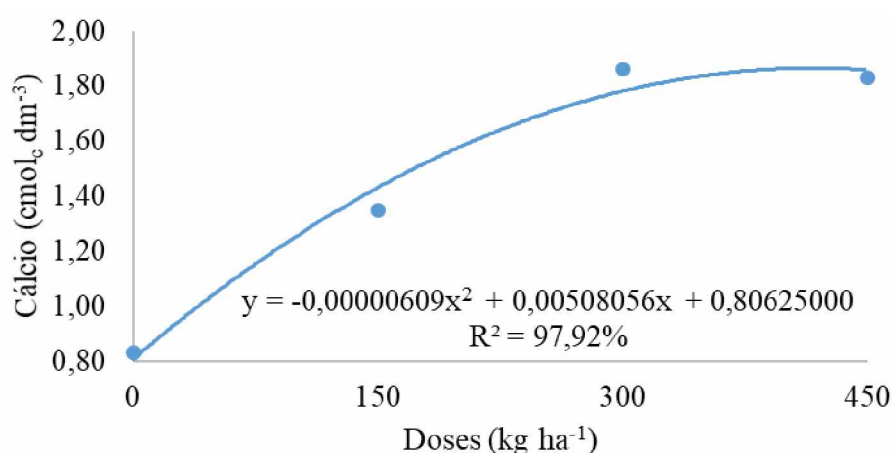


Figura 1 – Teor de cálcio (Ca) no solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) em função das doses do corretivo com enxofre (56,21% de CaO e 24,02% de MgO + 15,6% de S elementar), na profundidade 0-2 cm, em solo argiloso.

De acordo com Sá (1996), a aplicação de corretivos superficialmente em SPD atua primeiramente nas primeiras camadas abaixo da superfície do solo e elevando os

teores de Ca até a profundidade de cinco centímetros e, em menor grau, nas camadas mais profundas, assim como Caires et al. (2004); Soratto; Crusciol, (2008); Caires et al. (2011) e Costa (2015) também observaram incremento no teor de Ca com maior intensidade nas camadas superficiais do solo.

No que diz respeito aos teores de Mg no solo arenoso (Tabela 9) houve diferenças ( $p < 0,05$ ) de acordo com as profundidades analisadas, nas quais os maiores incrementos deste elemento foram observados na primeira e na última camada (0 a 2 cm e 8 a 12 cm), não havendo diferenças ( $p > 0,05$ ) nesses teores nas camadas intermediárias no perfil deste solo (Tabela 9).

Tabela 9 – Teor de magnésio (Mg) no solo ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	0,74	0,47	0,37	0,49	0,70	0,55
Acima	0,82	0,47	0,41	0,40	0,76	0,57
Média	0,78 a	0,47 b	0,39 b	0,45 b	0,73 a	
CV = 33,09 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,04		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,18			
Doses						
150	0,71	0,47	0,38	0,41	0,73	0,54
300	0,77	0,46	0,40	0,44	0,74	0,56
450	0,85	0,47	0,38	0,49	0,73	0,58
Média	0,78	0,47	0,39	0,45	0,73	
CV = 33,09 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,30					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	0,64	0,18	0,08	0,04	0,05	0,20
Acima	0,58	0,18	0,08	0,05	0,04	0,18
Média	0,61	0,18	0,08	0,04	0,04	
CV = 30,57 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,10		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,09			
Doses						
150	0,46 a	0,13 b	0,05 bc	0,03 c	0,03 c	0,14
300	0,66 a	0,18 b	0,07 c	0,04 c	0,05 c	0,20
450	0,70 a	0,23 b	0,11 c	0,06 c	0,05 c	0,23
Média	0,61	0,18	0,08	0,04	0,04	
CV = 30,57 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,09					

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A lixiviação de Mg tem sido constatada com frequência em estudos com aplicação superficial de gesso (CAIRES et al., 2004, CAIRES et al., 2006; GATIBONI

et al., 2003; SORATTO; CRUSCIOL, 2008), que possui concentração de S semelhante ao corretivo aqui testado, agindo analogamente a este produto. Segundo Costa (2015), essa movimentação ocorre pela associação de  $Mg^{2+}$  com o ânion  $SO_4^{2-}$ , dando origem a complexos com carga nula. Nesta forma eles apresentam maior mobilidade e são mais facilmente lixiviados no perfil do solo (SILVA et al., 1998), o que provavelmente ocorreu no presente estudo, verificando-se comportamento semelhante destes elementos, no solo arenoso, nas Tabelas 9 e 10. Além disso, Gargantini et al. (1982) concluíram que a lixiviação de Mg após a aplicação de corretivos foi mais intensa nos solos mais arenosos, devido a maior capacidade de troca destes solos.

Este fato também pode ser notado (Tabela 9) em relação às classes de interpretação de fertilidade consideradas pela CFSEMG (1999). Independente do modo de aplicação da fonte analisada, o teor de Mg no solo arenoso foi classificado como médio, assim como as camadas mais superficiais analisadas (0 a 4 cm) e a última camada (8 a 12 cm). Os teores de Mg nas camadas intermediárias (4 a 8 cm), foram classificados como baixos, observando-se claramente a movimentação deste elemento no perfil do solo (Tabela 9).

Já no solo argiloso (Tabela 9), os teores de Mg no solo foram classificados, segundo CFSEMG (1999), como médio apenas na camada superficial (0 a 2cm), sendo a camada de 2 a 4 cm baixo e as demais muito baixo (4 a 12 cm).

Ainda para o teor de Mg no solo argiloso (Tabela 9) houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre doses e profundidades. De modo geral, assim como observado para os teores de Ca (Tabela 8), independente das doses aplicadas, os maiores teores foram observados na camada de 0 a 2 cm, diminuindo ao decorrer do perfil do solo (Tabela 9).

Assim, nota-se na Figura 2 que a curva para os teores de Mg no solo, na profundidade de 0 a 2 cm, ajustou-se ao modelo quadrático, havendo incremento para os teores de Mg com o aumento das doses do corretivo com enxofre até a dose de 450 kg  $ha^{-1}$ , com a qual o teor foi de 0,7  $cmol_c\ dm^{-3}$  e se atingiu o máximo incremento de Mg neste solo, correspondendo a um aumento de 159 % em comparação ao controle 2. Após essa dose houve diminuição no teor desse elemento no solo.

Já para a profundidade 2 a 4 cm (Figura 2), observa-se que a reta para o incremento nos teores de Mg neste solo em função das doses aplicadas ajustou-se a um modelo linear. Portanto houve incremento para os teores de Mg com o aumento das doses do corretivo com enxofre, até a dose de 450 kg  $ha^{-1}$ , com a qual o teor foi de 0,23

cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e se obteve o máximo incremento no teor deste elemento, havendo aumento de 155% em comparação ao controle 2.

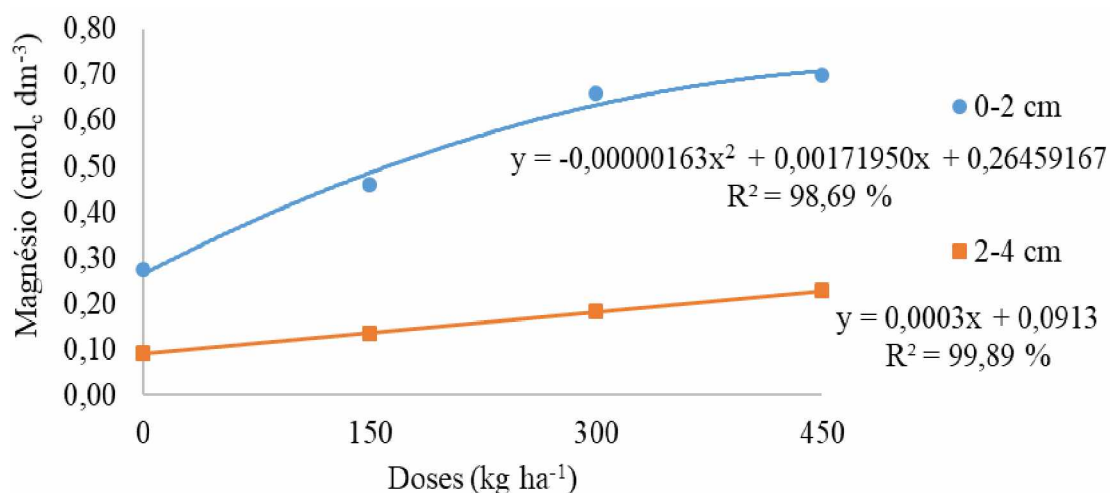


Figura 2 – Teor de magnésio (Mg) no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) nas profundidades 0-2 e 2-4 cm, em função da aplicação das doses do corretivo com enxofre (56,21% de CaO e 24,02% de MgO + 15,6% de S elementar) em solo argiloso.

Rodrighero et al. (2015), que também obtiveram aumento nos teores de Mg com as doses de corretivo aplicadas na superfície em SPD, assim como Caires et al. (2006), avaliando o teor de Mg em solo cultivado com milho em função da aplicação de doses de corretivo, na ausência e na presença de cobertura do solo, que encontraram aumento nos teores de Mg nas camadas superficiais do solo por meio da aplicação de corretivo, semelhantemente aos resultados obtidos neste trabalho de pesquisa.

Para os teores de S no solo arenoso (Tabela 10) houve interação ( $p < 0,05$ ) entre profundidades e modos de aplicação. Logo os maiores teores foram observados na primeira (0 a 2 cm) e na última (8 a 12 cm) camadas analisadas, quando a aplicação do corretivo com enxofre foi realizada abaixo da palhada (Tabela 10). No que diz respeito à profundidade, quando a fonte foi aplicada acima da palha, não houveram diferenças ( $p > 0,05$ ) nos teores de S no solo, já quando aplicada abaixo da palha, o maior teor foi observado na camada de 0 a 2 cm, seguido da camada de 8 a 12 cm. Os demais apresentaram os menores teores e não se diferenciaram ( $p > 0,05$ ) entre si (Tabela 10), verificando-se a movimentação deste elemento no perfil.

Para o teor de S no solo argiloso (Tabela 10) houveram diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as profundidades avaliadas, nas quais o maior incremento foi observado na camada de 0 a 2 cm e o menor na camada de 8 a 12 cm.

Tabela 10 – Teor de enxofre (S) no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	17,44 Aa	0,78 Ac	4,44 Abc	3,67 Abc	7,89 Ab	6,84
Acima	2,67 Ba	0,44 Aa	2,67 Aa	1,89 Aa	4,11 Ba	2,36
Média	10,06	0,61	3,56	2,78	6,00	
CV = 88,59 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 2,88		DMS <sub>profundidade</sub> = 5,44			
Doses						
150	10,00	0,83	4,17	3,17	7,67	5,17
300	11,67	0,67	2,50	2,50	4,17	4,30
450	8,50	0,33	4,00	2,67	6,17	4,33
Média	10,06	0,61	3,56	2,78	6,00	
CV = 88,59 %	DMS <sub>profundidade</sub> = 6,67					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	47,78	32,78	30,11	23,89	14,22	29,76
Acima	33,22	24,33	22,67	19,78	11,78	22,36
Média	40,50 a	28,56 b	26,39 b	21,83 b	13,00 c	
CV = 34,53 %	DMS <sub>aplicação</sub> = 7,57		DMS <sub>profundidade</sub> = 8,50			
Doses						
150	31,83	27,83	24,83	18,83	7,83	22,23
300	41,50	24,67	29,00	23,17	14,33	26,53
450	48,17	33,17	25,33	23,50	16,83	29,40
Média	40,50	28,56	26,39	21,83	13,00	
CV = 34,53 %	CV = 34,53 %					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

De acordo com a CFSEMG (1999), o teor de S no solo arenoso foi considerado médio quando o corretivo foi aplicada abaixo da palha. Quando esta foi aplicada acima da palha foi classificado como baixo. Além disso em relação aos teores deste elemento em profundidade foi classificado como alto somente na camada superficial (0 a 2 cm) e médio na última (8 a 12 cm) nas demais foi classificado como baixo (Tabela 10).

Já para o solo argiloso (Tabela 10), os teores de S, para todas as profundidades e modos de aplicação analisados, os teores de S foram classificados como altos (CFSEMG, 1999).

Ademais, de maneira geral, a aplicação do corretivo com S, em ambos os solos, demonstrou que a aplicação abaixo da palha foi numericamente superior, pois houve um incremento de  $4,48 \text{ mg dm}^{-3}$  (190%) no solo arenoso e  $7,4 \text{ mg dm}^{-3}$  (33%) no solo

argiloso neste modo de aplicação (Tabela 10), notadamente devido ao contato direto com o solo.

Em condições de SPD, as alterações no pH são observadas principalmente na camada superficial, que apresenta uma tendência de maior acidificação, devido aos resíduos de adubação e a decomposição de matéria orgânica (CASTRO; MARIA, 1993). Para a acidez ativa (pH em H<sub>2</sub>O) no solo (Tabela 11) houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre doses e profundidades (Figura 3), no solo de textura arenosa. De maneira geral, independente da dose, o maior pH em H<sub>2</sub>O foi obtido na camada de 0 a 2 cm, diminuindo em profundidade. Para o solo argiloso não houve diferenciação para a acidez ativa no solo (Tabela 11).

Tabela 11 – Acidez ativa no solo (pH em H<sub>2</sub>O), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
Abaixo	5,68	5,07	4,74	4,63	4,57	4,94
Acima	5,67	5,02	4,83	4,71	4,67	4,98
Média	5,67	5,04	4,79	4,67	4,62	
CV = 26,11%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,11		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,16			
Doses						
150	5,48 a	4,90 b	4,73 bc	4,60 c	4,60 c	4,86
300	5,58 a	4,97 b	4,72 c	4,65 c	4,63 c	4,91
450	5,95 a	5,27 b	4,92 c	4,77 cd	4,62 d	5,10
Média	5,67	5,04	4,79	4,67	4,62	
CV = 26,11%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,20					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	5,54	4,81	4,53	4,49	4,71	4,82
Acima	5,49	4,96	4,71	4,73	4,87	4,95
Média	5,52	4,83	4,62	4,61	4,79	
CV = 89,33%	DMS <sub>aplicação</sub> = 2,27		DMS <sub>profundidade</sub> = 4,55			
Doses						
150	5,32	4,80	4,62	4,65	4,78	4,83
300	5,68	4,88	4,62	4,58	4,82	4,92
450	5,55	4,80	4,63	4,60	4,77	4,87
Média	5,52	4,83	4,62	4,61	4,79	
CV = 89,33%	DMS <sub>profundidade</sub> = 6,43					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Conforme Rheinheimer et al. (2000), Amaral; Anghinoni (2001) e Costa (2015), o efeito do corretivo aplicado superficialmente se restringe à correção da acidez nas

camadas superficiais, como ocorrido no presente estudo, no entanto, outros autores relatam que esses efeitos podem atingir camadas mais profundas (PETRERE; ANGHINONI, 2001; CAIRES et al., 2003 e GATIBONI et al., 2003), dependendo principalmente do tempo decorrido.

Segundo Sousa et al. (2007), o pH no solo arenoso, sob o ponto de vista agrônômico, é considerado baixo, independente das dosagens aplicadas, observando-se ainda um gradiente de acidificação em profundidade (Tabela 11). No entanto para a camada de 0 a 2 cm esse nível foi considerado adequado e as demais camadas consideradas baixas. Para o solo argiloso constatou-se classificações equivalentes.

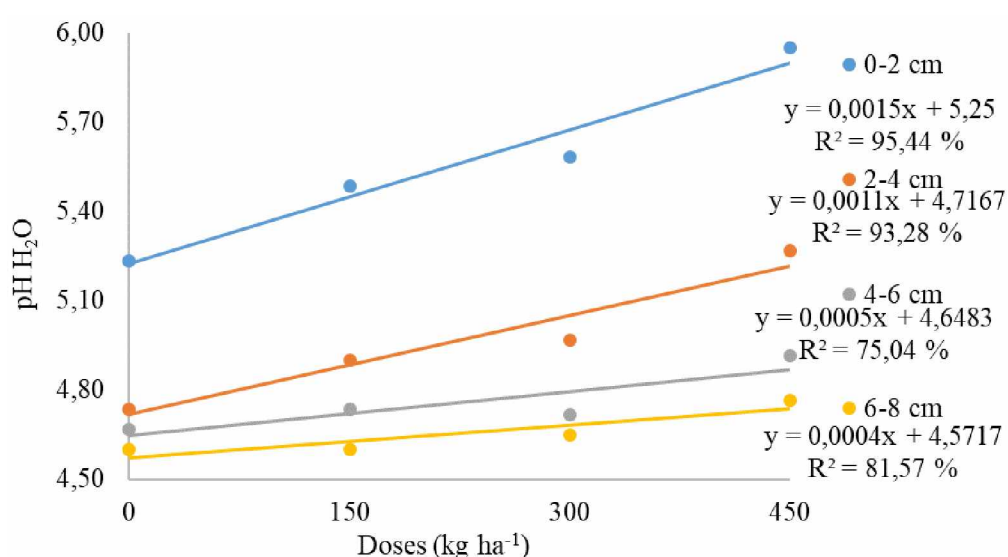


Figura 3 - Acidez ativa no solo (pH em H<sub>2</sub>O), nas profundidades de 0-2, 2-4, 4-6 e 6-8 cm, em função da aplicação das doses do corretivo com enxofre (56,21% de CaO e 24,02% de MgO + 15,6% de S elementar), em solo arenoso.

Pela análise de regressão (Figura 3), observa-se que a reta para os valores do potencial hidrogeniônico, em função das doses aplicadas, na profundidade de 0 a 2 cm, no solo arenoso, ajustou-se a um modelo linear. Assim houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo com enxofre, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o pH foi de 5,95 e se obteve o maior valor de pH, havendo aumento de 13,8% em comparação ao controle 2.

Já para a profundidade de 2 a 4 cm (Figura 3) a reta para a acidez ativa no solo em função das doses aplicadas, na profundidade de 2 a 4 cm, ajustou-se a um modelo linear. Assim houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo com



enxofre, até a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o pH foi de 5,27 e se obteve o maior valor de pH, havendo aumento de 11,4% em comparação ao controle 2.

Ainda na Figura 3, observa-se que para a profundidade de 4 a 6 cm, a reta para a acidez ativa no solo, em função das doses aplicadas, também se ajustou a um modelo linear. Portanto houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo com enxofre até a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o pH foi de 4,92 e se obteve o maior valor de pH, havendo aumento de 5,3% em comparação ao controle 2.

Na profundidade 6 a 8 cm (Figura 3), a reta também se ajustou ao modelo linear e houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo com enxofre, até a dose de  $450 \text{ kg ha}^{-1}$ , com a qual o pH foi de 4,77 e se obteve o maior valor de pH, havendo aumento de 3,7% em comparação ao controle 2.

De acordo com Sousa et al. (2007), a concentração de íons pode ocasionar erros na medida do pH em água. Isto pode ser evitado utilizando uma solução de força iônica constante, como é o caso do  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $10 \text{ mmol L}^{-1}$ , sendo a medição mais próxima a condições de campo. Dessa forma os dados obtidos estão demonstrados na Tabela 12.

Assim, no que tange à acidez ativa (pH em  $\text{CaCl}_2$ ) no solo arenoso (Tabela 12), houveram diferenças ( $p < 0,05$ ) em função das profundidades e dos modos de aplicação, onde os maiores valores foram encontrados nas camadas iniciais (0 a 2 cm e 2 a 4 cm), quando o corretivo foi aplicado abaixo da palha. Além disso, independente do modo de aplicação a camada mais superficial do solo (0 a 2 cm) foi a que obteve o maior valor de pH, diminuindo com o aprofundamento no perfil. Já no solo argiloso, o maior valor de pH ( $p < 0,05$ ) foi obtido na camada de 2 a 4 cm, independente do modo de aplicação (Tabela 12).

De acordo com Sousa et al. (2007), acidez ativa no solo arenoso, no geral, independente da dose aplicada, está classificada como muito alta para o solo arenoso e alta para o argiloso (Tabela 12). Em relação à acidez em profundidade no solo arenoso, todas as camadas tiveram classificação muito alta com exceção da camada de 0 a 2 cm, que foi classificada como alta (Tabela 12). Já para o solo argiloso a camada de 0 a 2 cm e a de 4 a 6 cm tiveram classificação de acidez considerada alta e as últimas camadas analisadas consideradas como muito altas. No entanto na camada de 2 a 4 cm, a acidez foi considerada muito baixa (Tabela 12) segundo Sousa et al. (2007).

Tabela 12 – Acidez ativa no solo (pH em CaCl<sub>2</sub>), submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
Abaixo	5,19 Aa	4,26 Ab	3,89 Ac	3,84 Ac	3,90 Ac	4,22
Acima	4,96 Ba	4,16 Bb	3,94 Ac	3,93 Ac	3,90 Ac	4,18
Média	5,07	4,21	3,92	3,89	3,90	
CV = 3,41%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,10		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,19			
Dose						
150	4,88 a	4,08 b	3,87 bc	3,83 c	3,90 bc	4,11
300	4,93 a	4,13 b	3,90 bc	3,87 c	3,90 bc	4,15
450	5,40 a	4,40 b	3,98 c	3,97 c	3,90 c	4,33
Média	5,07	4,21	3,92	3,89	3,90	
CV = 3,41%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,23					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	5,09	6,94	4,40	3,91	4,03	4,88 A
Acima	4,93	7,33	4,78	3,94	4,07	5,01 A
Média	5,01 b	7,14 a	4,59 bc	3,93 c	4,05 c	
CV = 14,54%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,23		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,68			
Dose						
150	4,85	7,38	4,62	3,92	4,03	4,96
300	5,10	6,75	5,10	3,93	4,08	4,99
450	5,08	7,28	4,05	3,93	4,03	4,88
Média	5,01	7,14	4,59	3,93	4,05	
CV = 14,54%	DMS <sub>profundidade</sub> = 1,78					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Além disso, o pH em CaCl<sub>2</sub> (Tabela 12), teve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre as doses e as profundidades (Figura 4) no solo de textura arenosa. Observa-se pela análise de regressão (Figura 4), que a reta em função das doses aplicadas, na profundidade de 0 a 2 cm, ajustou-se a um modelo linear. Assim houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo com enxofre, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o pH foi de 5,4, sendo o maior valor observado, havendo, dessa forma, aumento de 25,6% em comparação com o controle 2.

Já para a profundidade de 2 a 4 cm (Figura 4) a reta para a acidez ativa no solo em função das doses aplicadas, na profundidade de 2 a 4 cm, também se ajustou ao modelo linear. Assim, houve aumento no pH do solo com o aumento das doses do corretivo com enxofre, até a dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, com a qual o pH foi de 4,4 e se obteve o maior valor de pH, havendo aumento de 13,7% em comparação com o controle 2.

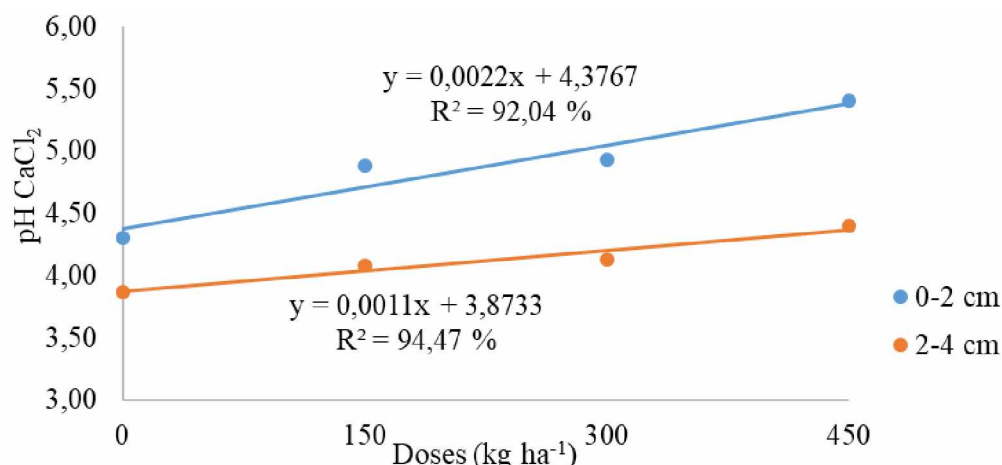


Figura 4 - Acidez ativa no solo (pH em CaCl<sub>2</sub>), nas profundidades de 0-2 e 2-4 cm, em função da aplicação das doses do corretivo com enxofre (56,21% de CaO e 24,02% de MgO + 15,6% de S elementar) em solo arenoso.

Semelhantemente a estes resultados, Caires et al. (2006) também observaram que as doses de corretivo aplicadas em superfície aumentaram linearmente o pH em CaCl<sub>2</sub>, em experimento avaliando os atributos químicos do solo e a resposta do milho com a aplicação de doses de corretivo na ausência e presença de cobertura de solo.

Com relação aos teores de Al<sup>3+</sup> no solo arenoso (Tabela 13) houve interação ( $p < 0,05$ ) entre os modos de aplicação e as diferentes profundidades. Dessa forma, quando foi realizada a aplicação do produto abaixo da palha, foram obtidos os menores teores de Al<sup>3+</sup> neste solo nas profundidades de 0 a 2 cm e 4 a 6 cm e acima da palha na profundidade de 8 a 12 cm. Também, independente do modo de aplicação, os menores teores foram observados na camada superficial (0 a 2 cm), aumentando em profundidade (Tabela 13).

Para os teores de Al<sup>3+</sup> no solo argiloso (Tabela 13) observa-se diferenças ( $p < 0,05$ ) em relação à profundidade, nas quais foi encontrado o menor teor na camada de 0 a 2 cm e os maiores teores nas camadas abrangendo a profundidade de 4 a 8 cm do perfil do solo.

De acordo com a CFSEMG (1999), de maneira geral, independente do modo de aplicação do corretivo com enxofre, o teor de Al<sup>3+</sup> para ambos os solos avaliados, é considerado baixo (Tabela 13).

Tabela 13 – Teor de alumínio no solo, submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	0,08 Aa	0,31 Ab	0,44 Ac	0,53 Acd	0,60 Bd	0,39
Acima	0,17 Ba	0,36 Ab	0,51 Bc	0,53 Ac	0,54 Ac	0,42
Média	0,12	0,33	0,48	0,53	0,57	
CV =17,86%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,05		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,10			
Doses						
150	0,12	0,38	0,51	0,55	0,55	0,42
300	0,17	0,37	0,48	0,53	0,57	0,42
450	0,08	0,26	0,43	0,52	0,60	0,38
Média	0,12	0,33	0,48	0,53	0,57	
CV = 17,86%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,12					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	0,06	0,30	0,54	0,53	0,32	0,35
Acima	0,04	0,31	0,56	0,52	0,31	0,35
Média	0,05 a	0,30 b	0,55 c	0,52 c	0,31b	
CV = 31,45%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,11		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,10			
Doses						
150	0,08	0,34	0,56	0,49	0,34	0,36
300	0,02	0,28	0,55	0,55	0,27	0,33
450	0,05	0,28	0,55	0,53	0,33	0,35
Média	0,05	0,30	0,55	0,52	0,31	
CV = 31,45%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,04					

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

A redução nos teores de Al<sup>+3</sup> também foi verificada por Costa (2015) e Soratto; Crusciol (2008) com a aplicação de corretivos superficialmente no solo. Esses resultados segundo Costa (2015), têm sido atribuídos a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio com o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> deslocando OH<sup>-</sup> e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez, podendo também, de acordo com Adams; Rawajfih (1977), ocorrer precipitação de Al com a formação de minerais. Outra possibilidade seria a lixiviação de Al, o que pode ser, em parte, favorecida pela formação, principalmente, de pares iônicos ou complexos AlSO<sub>4</sub><sup>4+</sup> (PAVAN et al., 1984).

Com efeito, a diminuição do Al trocável pela calagem superficial também foi observada por autores como Caires et al. (1999) e Pottker; Ben (1998), os quais verificaram essa redução até 0,1 e 0,05 m de profundidade, respectivamente.

No que diz respeito à acidez potencial (Tabela 14) para ambos os solos estudados houveram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação aos teores de  $H+Al$ , nas profundidades avaliadas (Tabela 14). Para o solo arenoso, o menor teor foi verificado na camada superficial do solo (0 a 2 cm) e o maior na camada de 6 a 8 cm. Já no solo argiloso foram observados os menores teores até a camada de 4 a 6 cm, aumentando em seguida (Tabela 14).

Tabela 14 – Teor de acidez potencial ( $H+Al$ ) no solo, submetido a diferentes manejos de aplicação e doses de um corretivo em diferentes profundidades, em dois tipos de solo.

Aplicação	Profundidade (cm)					Média
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-12	
SOLO ARENOSO						
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
Abaixo	1,69	2,12	2,27	2,38	2,01	2,09
Acima	1,60	2,09	2,38	2,31	2,22	2,12
Média	1,64 a	2,11 b	2,32 bc	2,34 c	2,12 bc	
CV =11,68%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,19		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,23			
Doses						
150	1,70	2,13	2,48	2,35	2,08	2,15
300	1,60	2,25	2,25	2,45	2,12	2,13
450	1,63	1,93	2,23	2,23	2,15	2,04
Média	1,64	2,11	2,32	2,34	2,12	
CV =11,68%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,40					
SOLO ARGILOSO						
Abaixo	1,08	1,14	1,18	1,37	1,36	1,22
Acima	1,08	1,02	1,11	1,34	1,31	1,17
Média	1,08 a	1,08 a	1,14 a	1,36 b	1,33 b	
CV = 9,90%	DMS <sub>aplicação</sub> = 0,07		DMS <sub>profundidade</sub> = 0,11			
Doses						
150	1,07	1,02	1,12	1,38	1,37	1,19
300	1,12	1,15	1,22	1,33	1,30	1,22
450	1,05	1,08	1,10	1,35	1,33	1,18
Média	1,08	1,08	1,14	1,36	1,33	
CV = 9,90%	DMS <sub>profundidade</sub> = 0,19					

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

É importante ressaltar que apesar dos resultados do presente estudo há a necessidade de maiores estudos a respeito da aplicação de fertilizantes e corretivos em SPD, sendo necessário pensar no sistema como um todo, levando em consideração as características de solo e cultura, clima, cultivo anterior, características da palhada, épocas de aplicação, dentre outros para, a seguir, planejar as estratégias de adubação.

Dessa forma o manejo da adubação do milho em SPD deve levar em consideração todo contexto em que se insere a cultura.

Com efeito o sistema depende da reposição contínua de resíduos, produzindo um bom volume de palhada sobre o solo, levando em consideração a liberação dos nutrientes pela decomposição dessa palhada, sendo que, quanto maior o teor de matéria orgânica no solo, maior será a sua atividade biológica. Não adianta ter adubo no solo se não tiver atividade biológica. Assim para o sucesso do sistema há de se ter em mente que a adubação de sistema nada mais é do que manter o solo em equilíbrio, fazendo com que as culturas do sistema estejam em condições de expressar todo o seu potencial produtivo.

#### 4 CONCLUSÕES

A aplicação do corretivo contendo 15,6% de enxofre elementar e 56,21% e 24,02% de CaO e MgO, respectivamente, na cultura do milho, em condições de casa de vegetação, altera o teor de enxofre na parte aérea do milho cultivado em solo arenoso e o teor de magnésio na parte aérea do milho cultivado em solo argiloso.

A aplicação do corretivo com enxofre em ambos os solos altera a acidez ativa e potencial e os teores de cálcio, magnésio, enxofre e alumínio no solo nas camadas superficiais do solo.

De maneira geral a aplicação do corretivo com enxofre abaixo da palha proporcionou resultados superiores, em detrimento da aplicação acima desta.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; RAWAJFIH, Z. Basaluminite and alunite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, [s.l.], v. 41, p. 686–692, 1977. <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100040013x>
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.936-941, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000400013>
- ANASTÁCIO, G. Calagem e sua importância na agricultura de alto rendimento. **Campo & Negócios**. Uberlândia, n. 146, p. 37-43, 2015.
- ANDREOTTI, M., RODRIGUES, J. D., CRUSCIOL, C. A. C., SOUZA, E. C. A. E BÜLL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p.145-150, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100022>
- BASI, S. **Associação de *Azospirillum brasilense* e de nitrogênio em cobertura na cultura de milho**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava. 2013.
- BÜLL, L. T. ; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. 301p.
- 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**, Viçosa, MG, v. 30, p. 87-98, 2006
- CAIRES, E. F., BARTH, G., GARBUIO, F. J., KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, 2002.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do



sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 275–286, abr. 2003.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 213–223, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000300009>

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 315–327, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000200016>

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**, [s.l.], v. 27, n. 1, p. 45–53, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x>

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

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 195-196, p. 234-242, mar. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.006>

CASTRO, O. M.; MARIA, I. C. Plantio direto e manejo do solo. In: WUTKE, E. B.; BULIZANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (Coords.) **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico**. Campinas: IAC, 1993. p.87-103. (Documentos IAC, 35).

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. **Nutrição e adubação do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de Produção, 1. Versão Eletrônica – 6º edição. Set./2010 .

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5 ed. Lavras, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Milho**. 2017. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 dez 2017.

COSTA, C. H. M. da. **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi**. 2015. 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; PIMENTEL, M. A. G.; COELHO, A. M.; KARAM, D.; CRUZ, I.; GARCIA, J. C.; MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, M. F.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, P. A.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V. da; ALVARENGA, R. C.; MATRANGOLO, W. J. R. **Produção de milho na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 45 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.

EVANGELISTA, J. R. E., OLIVEIRA, J. A., BOTELHO, F. J. E., VILELA, F. DE L., CARVALHO, B. O., OLIVEIRA, G. E. Tratamento de sementes com enraizante e adubação foliar e seus efeitos sobre o desempenho da cultura do milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, 2010. p. 109-113.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FREITAS, F. C. L., SANTOS, M. V., MACHADO, A. F. L., FERREIRA, L. R., FREITAS, M. A. M. E SILVA, M. G. O. Comportamento de cultivares de milho no consórcio com *Brachiaria brizantha* na presença e ausência de foramsulfuron + iodosulfuron-methyl para o manejo da forrageira. **Planta Daninha**, [s.l.], v. 26, p. 215-221, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100022>

GARGANTINI, H.; MELLO, F.A.F.; ARZOELA, S. Efeitos da calagem sobre os teores de cálcio mais magnésio de perfis de solos de cerrado. **Anais da ESALQ**, v.39, p.1115-1136, 1982. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761982000200026>

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. dos S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283–290, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200016>

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

NORUŠIS, M. J. **IBM SPSS Statistics 19 Statistical Procedures Companion**, Addison Wesley, 2011.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33–38, 1984.

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

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

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; VAN RAIJ, B. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 6, p. 189–194, 1982.

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**, Santa Maria, v. 30, n.2 , p. 263-268, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000200011>

RIBEIRO, S. S. **Cultura do Milho no Brasil**, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/291425590\\_Cultura\\_do\\_Milho\\_no\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/291425590_Cultura_do_Milho_no_Brasil). Acesso: 15 nov. 2017.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.39, p. 1723-1736, 2015.

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**, Viçosa, MG, v. 8, p. 103–109, 1984.

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 24p.

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

SILVA, D. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C. E ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v. 5, p. 75-88, 2006. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n1p75-88>

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p71-78>

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

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. G.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

TSUJIGUSHI, B. P.; KURIHARA, C. H.; CARVALHO, L. A. Calagem, gessagem e manejo da adubação em milho safrinha consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 2013, Dourados-MS. Estabilidade e Produtividade: **anais**, 2013. v. 12.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.  
<https://doi.org/10.5216/pat.v41i2.8390>

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 360 p.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2006. p. 355-374.