



DIEGO ANTONIO GONÇALVES

**DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE
DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DA CALAGEM EM
SUPERFÍCIE**

**LAVRAS – MG
2023**

DIEGO ANTONIO GONÇALVES

**DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO
MILHO EM FUNÇÃO DA CALAGEM EM SUPERFÍCIE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Agronomia, para a obtenção do título de
Bacharel.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Prof. Dra. Christiane Augusta Diniz Melo

Coorientadora

**LAVRAS – MG
2023**

DIEGO ANTONIO GONÇALVES

**DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO
MILHO EM FUNÇÃO DA CALAGEM EM SUPERFÍCIE**

**NUTRIENT AVAILABILITY AND YIELD OF MAIZE CROP DUE TO SURFACE
LIMING**

Trabalho de Conclusão de Curso que
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Curso
de Agronomia, para a obtenção do título de
Bacharel.

APROVADO em 11/07/2023

Dr. Silvino Guimarães Moreira UFLA

Prof. Dra. Christiane Augusta Diniz Melo UFLA

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Prof. Dra. Christiane Augusta Diniz Melo

Coorientadora

**LAVRAS - MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar o direito à vida, saúde e força para seguir por este caminho;

À minha mãe Denize, por me incentivar aos estudos e ser exemplo de luta e determinação;

Ao meu pai Magela, por me ensinar a levar a vida de forma digna, sabendo aproveitar os bons momentos;

À minha irmã Livia, que se dispôs a ouvir minhas dificuldades e empecilhos deste caminho;

Ao meu avô Antonio Gonçalves de Paula, que sempre me ensinou a honra do trabalho, o respeito e a perseverança;

Aos grupos GMAP e NESF pela troca de conhecimento, experiência, crescimento profissional e pessoal;

Aos membros desta banca que colaboraram para a melhoria e conclusão deste trabalho, indispensável para minha graduação;

Aos meus amigos que conheci em Lavras, nunca serão esquecidos por terem feito parte de uma fase tão importante da minha vida.

RESUMO

A acidez do solo configura-se como uma das principais barreiras para o aumento da produtividade da maioria das culturas. Esse fato é de grande importância, principalmente no caso dos solos de Cerrado, que além de serem naturalmente ácidos, apresentam baixos teores de cátions básicos. Mesmo em solos com acidez corrigida, também há necessidade de cuidados em relação ao manejo da fertilidade, uma vez que sofrem anualmente grandes remoções de nutrientes pela exportação nas colheitas e constante acidificação devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados. A calagem é uma das práticas mais comuns e efetivas para aumentar a produção agrícola em solos ácidos, entretanto, é necessário que a dose utilizada seja suficiente para corrigir a acidez ativa e trocável, não afetando negativamente a disponibilidade de micronutrientes. Apesar de já terem sido realizados estudos para outras regiões do Brasil, ainda são escassas as informações para solos de Cerrado das regiões Sul de Minas/Campos das Vertentes, locais em que vem sendo aplicadas doses de calcário acima das recomendadas pelos métodos oficiais de recomendação. Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário aplicadas em superfície (0, 2, 4, 6, e 8 Mg ha⁻¹) na disponibilidade de nutrientes e na produtividade do híbrido de milho P3016VYHR, além de um tratamento adicional de 8 Mg ha⁻¹ incorporado ao solo. O experimento foi conduzido na Fazenda Estiva II, situada na cidade de São João Del Rey, mesorregião do Campo das Vertentes. A análise de solo foi feita com coleta estratificada de 0,0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m, e 0,20 - 0,40 m, em área trabalhada sob sistema de plantio direto (SPD) há mais de três anos. Após as avaliações, foi observado que os micronutrientes, analisados nas camadas de 0,00 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m do solo, foram pouco influenciados pelo aumento das doses de calcário e permaneceram na mesma faixa de disponibilidade do tratamento controle, não devendo estes ser uma preocupação na recomendação de calagem superficial em SPD e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram elevados nas camadas superficiais. Portanto, conclui-se que a aplicação do calcário em superfície não apresentou influência quanto à disponibilidade de micronutrientes e também não afetou a produtividade do milho, apenas colaborando com elevação de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas camadas superficiais.

Palavras-chave: Acidez do solo. Calcário. *Zea mays* L.. Nutrição vegetal.

ABSTRACT

Soil acidity is one of the main barriers to increasing the productivity of most crops. This fact is of great importance, especially in the case of Cerrado soils, which in addition to being naturally acidic, have low levels of basic cations. Even in soils with corrected acidity, there is also a need for care in relation to fertility management, since they annually suffer large removals of nutrients due to exportation in harvests and constant acidification due to the application of nitrogen fertilizers. Liming is one of the most common and effective practices to increase agricultural production in acid soils, however, it is necessary that the dose used is sufficient to correct the active and exchangeable acidity, not negatively affecting the availability of micronutrients. Although studies have already been carried out for other regions of Brazil, there is still little information on Cerrado soils in the Southern Minas/Campos das Vertentes regions, places where limestone doses above those recommended by official recommendation methods have been applied. Based on the above, the present work aimed to evaluate the effect of different doses of lime applied on the surface (0, 2, 4, 6, and 8 Mg ha⁻¹) on nutrient availability and productivity of the corn hybrid P3016VYHR, in addition to an additional treatment of 8 Mg ha⁻¹ incorporated into the soil. The experiment was conducted at Fazenda Estiva II, located in the city of São João Del Rey, Campo das Vertentes mesoregion. Soil analysis was performed after stratified collection of 0.0 - 0.10 m, 0.10 - 0.20 m, and 0.20 - 0.40 m, in an area worked under no-tillage system (SPD) for more than three years. After the evaluations, it was observed that the micronutrients, analyzed in the layers from 0.00 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m of the soil, were little influenced by the increase in limestone doses and remained in the same range of availability of the control treatment, which should not be a concern when recommending surface liming in NTS and Ca²⁺ and Mg²⁺ contents were high in the surface layers. Therefore, it is concluded that the application of lime on the surface did not influence the availability of micronutrients and also did not affect corn productivity, only collaborating with an increase in Ca²⁺ and Mg²⁺ in the surface layers.

Keywords: Soil acidity. Limestone. *Zea mays* L.. Plant nutrition.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Acidez e acidificação dos solos.....	10
2.2 Calagem	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 pH.....	15
4.2 Cálcio	16
4.3 Magnésio.....	17
4.4 Micronutrientes	18
4.5 Produtividade.....	19
5. CONCLUSÕES.....	20
REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido ao crescimento constante da população e pensando em garantir a segurança alimentar global, tem-se gerado um aumento na demanda por alimentos, o que vem impulsionado investimentos constantes na agricultura visando o aumento na produtividade agrícola (FAO, 2009; FRÓNA et al., 2019). Além disso, os valores propagados pelos movimentos sociais também representam uma forte pressão contra o sistema agroalimentar vigente (WILKINSON, 2023).

A verticalização e a necessidade de buscar sistemas de produção agrícola de cultivo circular nos principais países exportadores tem sido uma resposta à crescente demanda por alimentos, promovendo o uso e reuso dos insumos até que estes se reincorporem ao ambiente natural (VELASCO-MUÑOZ et al., 2021). Este novo cenário refere-se ao uso de tecnologias e práticas que aumentam a produtividade e eficiência no setor agrícola, incluindo técnicas de cultivo, desenvolvimento de produtos químicos, genéticas de matérias e maquinários de ponta. Essas novas tecnologias têm o objetivo de otimizar a produção agrícola, aumentando a quantidade de alimentos produzidos em uma determinada área, sendo estritamente importante, considerando a previsão de que a produção mundial de alimentos precisará dobrar até 2050 para suprir a demanda crescente de aumento da população (FAO, 2009).

Importante ressaltar que as exportações de commodities têm grande impacto positivo para a economia do país, uma vez que gera empregos, renda, evolução e crescimento do parque industrial e empresarial brasileiro (GOV, 2023).

O milho (*Zea mays* L.), destaca-se no cenário agrícola sendo a cultura mais produzida em todo o mundo e tendo grande importância socioeconômica. Estima-se que o Brasil irá produzir no ano agrícola 2022/2023 cerca de 125 milhões de toneladas de grãos (USDA, 2023), essa alta produção está atrelada a investimentos em pesquisas, no desenvolvimento de novos híbridos, proporcionando uma melhora do material genético e aprimorando as tecnologias envolvidas no manejo da cultura.

Entretanto, existem lacunas a serem preenchidas quanto ao manejo dos solos que podem acentuar o potencial agrônomo desta cultura e favorecer a produtividade. No solo, a acidez tem influência direta em suas características físicas, químicas e biológicas, tornando-se uma das principais barreiras para aumento das produtividades da maioria das culturas (FOLONI et al., 2008).

Sendo o Cerrado o segundo maior bioma do território brasileiro e a principal área de produção de grãos do país (SOUZA et al., 2016), a acidez é um fator de grande relevância principalmente nos solos deste bioma, que além de serem naturalmente ácidos, apresentam baixos teores de cátions

básicos (FAGERIA, 2001a; FAGERIA, 2001b). A calagem se configura como o método mais indicado para a correção da acidez do solo, uma vez que é capaz de elevar o pH do solo, neutralizar o alumínio (Al^{3+}) e o manganês (Mn^{2+}) quando em níveis tóxicos, além de fornecer cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}).

No Brasil, o Sistema de Plantio Direto (SPD) ocupa cerca de 32 milhões de hectares (PEIXOTO et al., 2019), contribuindo para a produtividade e lucratividade da agricultura através da conservação da água e do solo, redução do uso de maquinários e de mão de obra (BOLLIGER et al., 2006; CORBEELS et al., 2016; XAVIER et al., 2019). Com a adoção deste sistema, a correção da acidez do solo é realizada mediante a distribuição do calcário na superfície, sem que haja sua incorporação no solo. Porém, o aumento do pH nas camadas superficiais do solo pode ocasionar redução na absorção de zinco (Zn) e de manganês (Mn) (CAIRES, 2000).

A elevação do pH gera a deficiência de micronutrientes metálicos, por terem sua solubilidade reduzida na solução do solo, deixando-os menos disponíveis para as plantas (RHOTON, 2000). Apesar de já terem sido realizados estudos para outras regiões do país, ainda são escassas as informações para solos de Cerrado das regiões Sul de Minas/Campos das Vertentes, que são locais em que tem sido aplicado doses de calcário acima das recomendadas pelos métodos oficiais de recomendação. Com base no exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário aplicadas em superfície na disponibilidade de micronutrientes e na produtividade do milho cultivado em sistema de plantio direto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Acidez e acidificação dos solos

A acidez dos solos pode ocorrer naturalmente devido à composição do material de origem, como é observado em solos de Cerrado, que possuem baixos teores de cátions básicos (FAGERIA; GHEYI, 1999). Para manter a eletroneutralidade, as cargas positivas desses cátions são substituídas por íons Al^{3+} e H^+ , resultando em um ambiente ácido. A acidificação pode ocorrer devido ao manejo, como a remoção de cátions básicos, devido aos sucessivos cultivos agrícolas, levando a alta exportação de nutrientes pela cultura (SOUSA et al., 2007).

A utilização de fertilizantes nitrogenados, como a ureia e o nitrato de amônio, assim como a decomposição da matéria orgânica presente no solo, desempenha um papel significativo na acidificação dos solos (WAKWOYA et al., 2022). Isso ocorre devido à conversão de compostos orgânicos em inorgânicos, resultando na liberação de íons H^+ . Quando os fertilizantes nitrogenados são aplicados no solo, estes são convertidos em formas nitrogenadas mais solúveis, como nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) e durante o processo de nitrificação, o amônio é oxidado a nitrato, liberando íons H^+ no solo.

Outro fator que contribui para a acidificação do solo é a reação do dióxido de carbono (CO_2), proveniente da decomposição da matéria orgânica com a água presente no solo. Essa reação produz ácido carbônico (H_2CO_3), que se dissocia em íons H^+ , acidificando o meio (SOUSA et al., 2007).

No cultivo de qualquer sistema, corrigir adequadamente a acidez do solo é fundamental para obter o máximo aproveitamento da maioria dos nutrientes. Manter o pH entre 6,0 e 6,5 proporciona uma maior disponibilidade de macronutrientes e de alguns micronutrientes (SOUSA et al., 2007), proporcionando mais eficiência das plantas e efetividade de adubações. Nesse intervalo, a atividade dos microrganismos é intensificada, favorecendo a liberação dos nutrientes presentes na palhada e na matéria orgânica (MO) (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Além das características químicas e biológicas, o calcário pode atuar no quesito físico do solo, pois alterações no pH modificam propriedades de floculação, dispersão e agregação do solo (SETA; KARATHANASIS, 1996; ALBUQUERQUE et al., 2003). O maior desenvolvimento das culturas leva a maior produção de fitomassa, contribuindo assim para a deposição de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, para a melhor construção do perfil do solo.

2.2 Calagem

Os métodos mais utilizados para o cálculo da necessidade de calcário no Brasil Central são o Método da Neutralização do Alumínio Tóxico e Elevação dos Teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , conhecido como “Método de Minas” e o Método da Saturação por Bases, intitulado “Método de São Paulo”. O método de Minas leva em consideração a quantidade de calcário necessária para neutralizar a acidez trocável do solo, somada a quantidade necessária para elevar os teores de Ca e Mg aos níveis adequados para cada cultura. Este método considera o poder de tamponamento dos solos, ao requerer doses mais altas para solos mais argilosos através da variável “Y”, utilizando valores tabelados para compor a fórmula de recomendação. O valor de “X” dentro do cálculo é uma variável atrelada à cultura em questão, baseado em estudos antigos que podem já estar obsoletos tecnicamente. Já no método da Saturação por Bases, se considerada a quantidade de calcário necessária para se elevar a porcentagem de V% a valores adequados para cada uma das culturas (RAIJ et al., 1996), ou seja, fornecendo as bases Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ em níveis ótimos para o desenvolvimento das plantas, visando a produção máxima (FAGERIA, 2001a).

No entanto, as quantidades de calcário recomendadas pelos métodos descritos não estão sendo suficientes para atingir os valores adequados de V%, o que faz com que muitos técnicos de campo tenham que dobrar e/ou até triplicar a dosagem calculada pelos métodos oficiais de recomendação. Todavia, essas decisões têm sido tomadas com base em observações empíricas, sem dados científicos que validem tais decisões, mostrando a necessidade de novos estudos.

A elevação do pH, como citada anteriormente, leva à deficiência de micronutrientes metálicos, por terem sua solubilidade reduzida na solução do solo, deixando-os menos disponíveis para as plantas (RHOTON, 2000). Segundo Barber (1995), quando os valores de pH estão próximos a 7,0, a formação de compostos de baixa solubilidade reduz a concentração de micronutrientes catiônicos na solução do solo, proporcionando um decréscimo do seu fluxo difusivo.

Soares e colaboradores (2008) verificaram que a distribuição do boro (B) entre as fases líquida e sólida é extremamente dependente do pH, sendo o fator de maior importância da solução do solo que afeta a disponibilidade de B. Na maioria das vezes, o B torna-se menos disponível com a elevação do pH da solução do solo. Já Ohland e colaboradores (2019), observaram que o aumento da dose de calcário reduz a disponibilidade de Zn no solo. Entretanto, esta diminuição não afeta o desenvolvimento das plantas se os níveis de Zn no solo estiverem adequados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Estiva II, situada na cidade de São João Del Rey, Minas Gerais, localizado na mesorregião do Campo das Vertentes. A análise de solo foi feita com coleta estratificada de 0,0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m, e 0,20 - 0,40 m aos 18 meses após a aplicação do calcário, em área de cultivo do híbrido de milho P3016VYHR, trabalhada sob SPD a mais de três anos.

Para a coleta das amostras de solo, foram seguidas as recomendações do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAVINATO et al., 2017), específicas para o SPD. Os métodos de extração utilizados foram o extrator Mehlich⁻¹ para P, K, Na, Fe, Zn, Mn e Cu, KCl 1 mol L⁻¹ para Ca, Mg e Al (Tabela 1) e água quente para B.

Tabela 1 - Propriedades químicas dos solos antes da instalação dos experimentos, em São João Del Rey, MG, localizado na mesorregião do Campo das Vertentes.

0	pH ¹	P ²	K	Ca	Mg	Al	H+AL	V	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
m	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	%	mg dm ⁻³									
0,00-0,10	5,4	10,0	0,3	3,1	1,0	0,2	2,4	65,0	3,8	0,4	0,7	31,4	8,9	3,4
0,10-0,20	4,8	5,6	0,1	1,7	0,5	0,2	3,0	43,9	2,8	0,8	0,7	35,0	4,8	2,2
0,20-0,40	4,6	1,4	0,2	1,6	0,5	0,1	2,3	50,1	2,4	0,4	0,7	32,9	4,1	1,6

Legenda: ¹ CaCl₂; ² Mehlich⁻¹.

Fonte : Do autor (2021).

Além disso, a composição granulométrica dos solos foi determinada após a instalação do experimento, conforme descrito na Tabela 2. As metodologias utilizadas para as análises seguiram os procedimentos descritos por Silva (2009).

Tabela 2 - Análise textural do solo em diferentes profundidades.

Profundidade	Argila	Areia	Silte	Classificação textural
m	-----g kg ⁻¹ -----			
0,00 - 0,20	517	169	314	Argilosa
0,20 - 0,40	617	144	239	Muito argilosa

Fonte: Do autor (2021).

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo composto por quatro blocos e seis tratamentos. Os tratamentos consistiram de cinco doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha⁻¹) aplicadas em superfície e sem incorporação ao solo, além de

uma parcela adicional com aplicação de 8 Mg ha^{-1} de calcário com incorporação do corretivo ao solo, totalizando 24 parcelas estabelecidas nos quatro blocos do experimento. A aplicação do calcário e revolvimento da parcela incorporada ocorreram durante entressafra de 2019.

Cada parcela foi formada por uma área de 10 m de largura (equivalente a duas passadas do distribuidor de calcário Bruttus®) por 20 m de comprimento. O distribuidor Bruttus® foi utilizado para garantir uma distribuição precisa do calcário, minimizando a deriva e a perda do corretivo durante a implantação do experimento. O tratamento com incorporação do calcário simulou a reabertura da área e foi realizado com duas passadas de uma grade de 32 polegadas, seguida de duas gradagens niveladoras a fim de nivelar o terreno.

Amostras de calcário foram coletadas para análise das características de granulometria e composição química dos corretivos. Os resultados da análise mostraram que o calcário utilizado apresentou uma reatividade (RE) de 90%, poder de neutralização (PN) de 109% e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 98%. O calcário também apresentou os teores de óxido de cálcio (CaO) de 35% e de óxido de magnésio (MgO) de 16%.

A semeadura foi realizada no dia 26/10/2020 de forma mecanizada, logo após adubação pré-plantio com 300 kg/ha de KCl, seguindo o funcionamento da fazenda. No sulco de plantio foi utilizado 330 kg/ha do adubo 13-33-00 e posteriormente foi feita a adubação de cobertura com 560 kg/ha de ureia.

Para avaliar a produtividade da cultura, realizou-se a colheita das três linhas centrais ao longo de cinco metros por parcela. Após a colheita, houve o processamento dos grãos em trilhadeira vertical de parcelas, e, em seguida, procedeu-se de modo manual a limpeza de impurezas fazendo o uso de abanadores e peneiras. Posteriormente, foi realizada a avaliação de umidade e correção a 13% e o peso por parcela para conversão para produtividade por hectare (10.000 m^2).

Após a colheita, realizou-se amostragens de solo em todas as parcelas experimentais, nas camadas de 0,00 a 0,10 m, de 0,10 a 0,20 m, e de 0,20 e 0,40 m, fazendo o uso de um trado holandês e coletando cinco amostras simples, sendo três amostras nas entrelinhas da cultura e duas na linha cultura, para compor uma amostra composta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhados para o laboratório, onde foram secas em estufas de circulação forçada com temperatura não superior a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e posteriormente passadas em peneirade malha 0,002 m. Após a preparação das amostras coletadas, foram determinados os teores dos nutrientes. As amostragens de solo foram realizadas 18 meses após a instalação dos experimentos, e durante esse período, foi registrada uma precipitação pluviométrica total de 1.610 mm.

Os parâmetros químicos do solo das camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, como

pH, Ca, Mg, e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) foram determinados seguindo as metodologias descritas por Silva (2009). Na camada de 0,20 a 0,40 m foram determinados somente os valores de pH, Ca e Mg, .

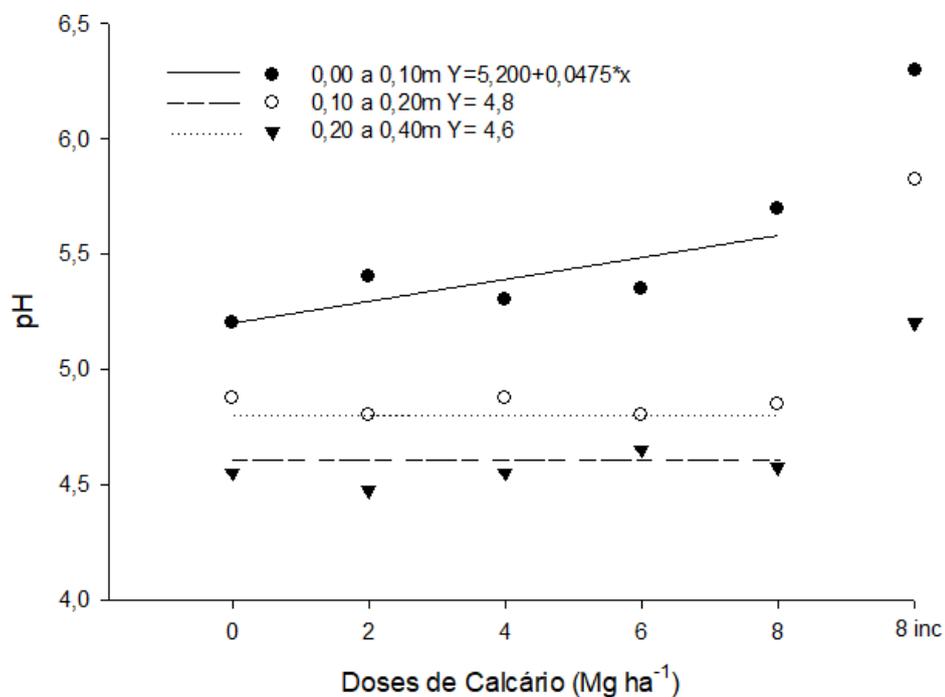
Para investigar o efeito das doses de calcário sem incorporação, todos os dados foram submetidos a uma análise de variância e testados os modelos de regressão de 1º e 2º grau, a escolha do melhor modelo de regressão foi baseada no critério de significância dos parâmetros $p < 0,05$ e, posteriormente, no critério de informação de Akaike (AIC), onde o menor valor indica um ajuste melhor aos dados. Em seguida, para as variáveis que apresentaram um ajuste de regressão significativo, foi realizado o contraste de médias usando o Teste de Dunnett ao nível de significância de 5%. Nesse teste, a dose de 8 Mg ha⁻¹ com incorporação ao solo foi considerada como o controle, com o objetivo de comparar as médias das demais doses de calcário sem incorporação ao solo com a média do controle.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 pH

Observou-se que o valor de pH (medido com CaCl_2) na camada de 0,00 a 0,10 m aumentou de forma linear com as doses de calcário aplicadas em superfície e sem incorporação ao solo (Figura 1). Esse resultado era esperado, uma vez que o calcário tem a capacidade de elevar o pH do solo, sendo esses resultados consistentes com estudos anteriores conduzidos por diversos autores, os quais também constataram elevações de pH na camada superficial do solo após seis meses da aplicação do calcário superficial em áreas com sistema de plantio direto (RHEINHEIMER et al., 2000; CAIRES et al., 2002; DA COSTA, 2016; CHAPLA, 2017).

Figura 1– Efeito das doses do calcário no pH.



Fonte: Do autor (2021).

Na camada de 0,10 a 0,20 m, a dose máxima de calcário incorporada ao solo gerou uma elevação significativa do pH, entretanto os tratamentos em superfície não apresentaram respostas significativas.

Na profundidade 0,20 a 0,40 m os tratamentos com aplicação de calcário em superfície e sem incorporação não influenciaram os valores de pH. Entretanto, para dose máxima quando incorporada, verificou-se aumento significativo do pH em relação a todas as doses não incorporadas, o que demonstra que a incorporação do calcário ao solo tem a capacidade de

auxiliar na correção das camadas subsuperficiais.

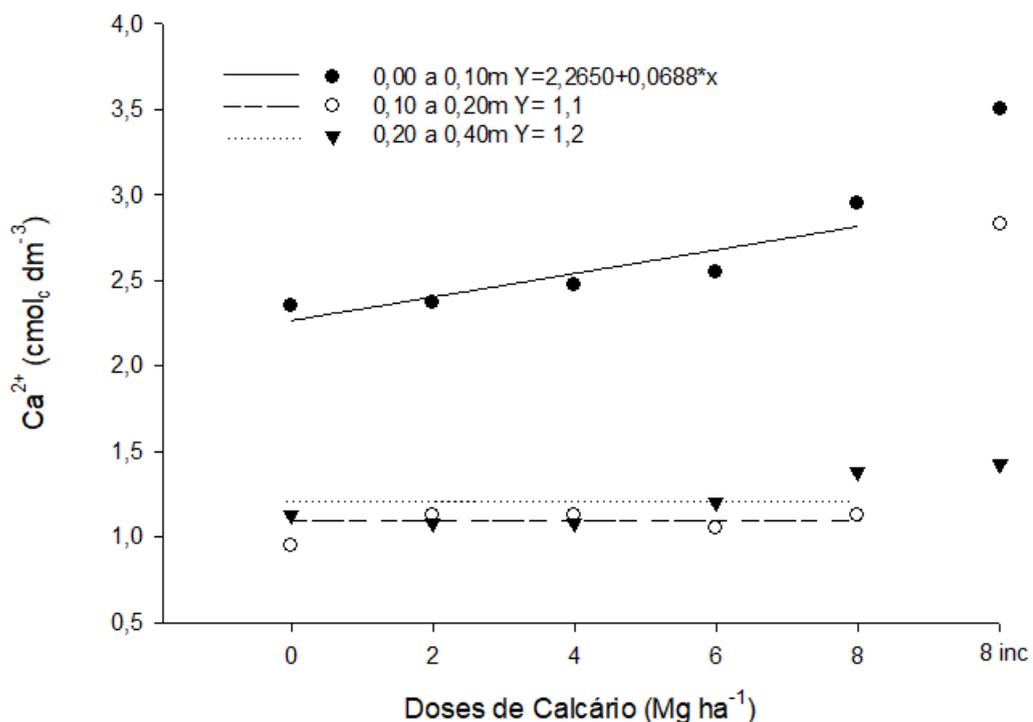
O contraste foi realizado a fim de comparar o efeito das doses de calcário aplicadas em superfície com a maior dose incorporada. Em termos absolutos, as parcelas que receberam a incorporação apresentaram pH superior em relação aos tratamentos em que o calcário não foi incorporado ao solo.

No entanto, no estudo realizado por Moreira et al. (2001), em duas áreas cultivadas sob SPD no estado do Paraná, não foram observadas diferenças nos valores de pH das camadas superficiais do solo ao comparar a dose máxima incorporada ao solo com a mesma dose sem incorporação. Sendo a dose máxima de calcário utilizada pelos autores neste estudo de 3.380 kg ha^{-1} .

4.2 Cálcio

Foi observado um aumento linear nos teores de cálcio na camada de 0 a 0,10 m à medida que as doses aplicadas sem incorporação foram incrementadas (Figura 2). No entanto, a incorporação do corretivo resultou em um aumento significativo nos teores de cálcio em comparação com todas as outras doses.

Figura 2 - Efeito das doses de calcário na disponibilidade de cálcio no solo.



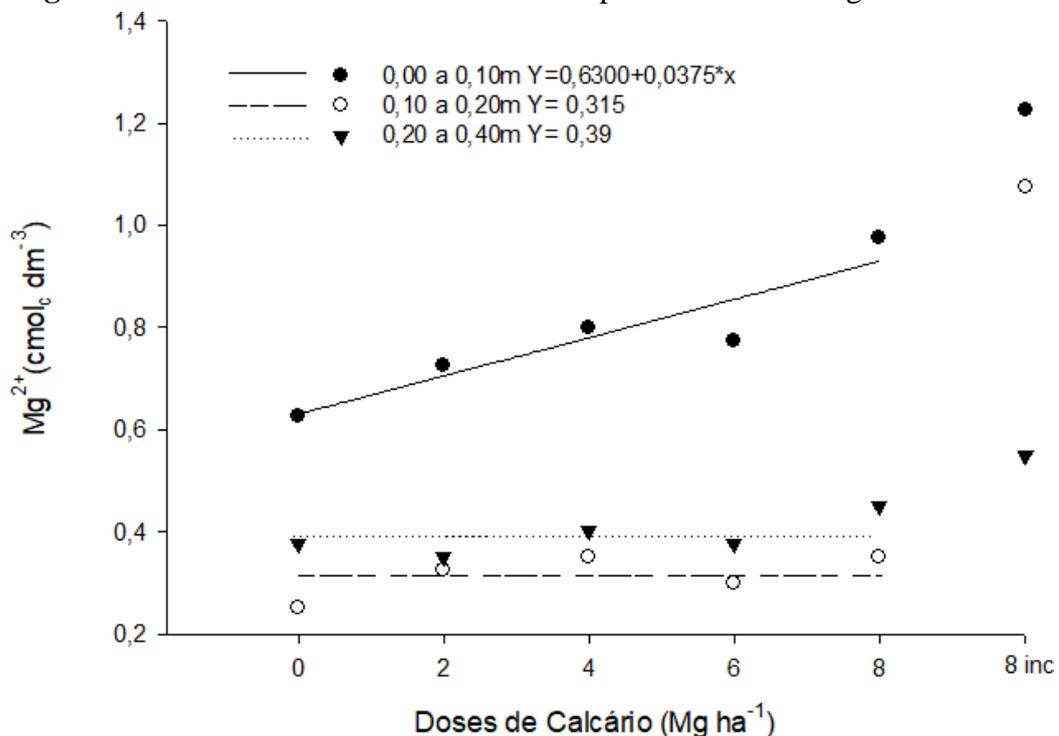
Fonte: Do autor (2021).

Nas amostras obtidas da camada de 0,10 a 0,20 m, para as doses de calcário aplicadas em superfície não houve alterações significativas nos teores de cálcio, o que está em concordância com os resultados encontrados por Moreira et al. (2001), porém, a incorporação do corretivo resultou em uma resposta efetiva do solo. Na camada de 0,20 a 0,40 m, os tratamentos em superfície e incorporado não demonstraram resultados significativos. No trabalho desenvolvido por Melinski (2020), observou-se resultados positivos nos teores de cálcio na camada de 0,0 a 0,10 m logo nos primeiros cinco meses, entretanto, nas camadas subsuperficiais de 0,40 m incrementos no teor de Ca^{2+} só foram observados após cinco anos da realização da calagem.

4.3 Magnésio

Os teores de magnésio, na camada de 0,00 a 0,10 m, aumentaram de forma linear à medida que as doses de calcário foram incrementadas (Figura 3) e o tratamento com incorporação ao solo se diferiu estatisticamente nas doses 0, 2, 4 e 6 Mg ha^{-1} . Já na camada de 0,10 a 0,20 m, o maior teor de magnésio foi obtido no tratamento com incorporação do calcário, não havendo diferença significativa entre os tratamentos sem incorporação, que exibiram em média $0,315 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Figura 3 - Efeito das doses de calcário na disponibilidade de magnésio no solo.



Fonte: Do autor (2021).

Na profundidade de 0,20 a 0,40 m, o teor de magnésio foi elevado apenas no tratamento com incorporação do calcário. Porém este resultado pode ser diferente quando em outras condições climáticas, de acordo com os estudos de Yagi (2018) altas doses de corretivo em condições de alta precipitação no SPD favorecem a lixiviação de Mg^{2+} para as camadas subsuperficiais do solo.

4.4 Micronutrientes

No que diz respeito aos teores de B no solo não foram observadas diferenças significativas em nenhuma das camadas (Tabela 3). Este resultado foi observado também por Rosolem e Bísvaro (2007), verificando em seus trabalhos uma maior adsorção do B aos colóides do solo apenas nos primeiros meses pós a calagem, o que não se configurou como preocupação para realização desta, pois no segundo ano agrícola o B já havia sido disponibilizado.

Tabela 3 - Teores de micronutrientes no solo coletado após 18 meses da aplicação do calcário.

Dose ($Mg\ ha^{-1}$)		B	Cu	Fe	Mn	Zn
		$mg\ dm^{-3}$				
0,00 - 0,10m	0	0,4	0,7*	29,3	6,8	3,9
	2	0,5	0,6	28,3	5,9	3,3
	4	0,4	0,7*	36,3	6,6	3,6
	6	0,4	0,6	27,0	5,7	3,2
	8	0,5	0,6	27,9	6,8	4,1
	8inc	0,4	0,6	29,4	7,2	3,1
0,10 - 0,20m	0	0,3	0,7	29,5	3,1	2,6
	2	0,3	0,6	27,3	3,0	2,8
	4	0,4	0,6	31,5	3,4	2,2
	6	0,2	0,6	30,1	2,9	2,6
	8	0,3	0,6	29,9	3,4	2,1
	8inc	0,3	0,6	26,7	4,7	2,3

Os valores sinalizados com “*” apresentaram diferença estatística.

Fonte: Do autor (2021)

Em relação aos teores de Cu na camada de 0,00 a 0,10 m, o tratamento sem aplicação e o de e $4\ Mg\ ha^{-1}$ apresentaram valores de $0,7\ mg\ dm^{-3}$, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos que apresentaram valores de $0,6\ mg\ dm^{-3}$. No entanto, essa diferença de apenas $0,1\ mg\ dm^{-3}$ tem pouca importância na prática e não deve ser um fator preocupante na tomada de decisão para a recomendação de calcário em superfície, conforme observado por Moreira

(2017). No intervalo de 0,10 – 0,20 m esta diferença não foi representativa.

Normalmente, espera-se uma redução significativa na disponibilidade de ferro (Fe^{3+}) com o aumento das doses de calcário, pois os íons Fe^{3+} e Fe^{2+} têm suas atividades reduzidas em 1000 e 100 vezes, respectivamente, para cada unidade de aumento de pH (FAGERIA et al., 2002). No entanto, no presente estudo nenhuma das doses de calcário alterou significativamente os teores de Fe no solo nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Da mesma forma, o aumento das doses de calcário na superfície não resultou na redução dos teores de manganês (Mn^{2+}) ou zinco (Zn^{2+}) disponíveis no solo em nenhum dos tratamentos.

De forma geral, os resultados obtidos neste estudo foram semelhantes aos observados por Tissi et al. (2004), Soratto e Crusciol (2008), e Moreira et al. (2017), ou seja, todos esses estudos constataram pouca ou nenhuma variação dos teores de micronutrientes no solo em função das doses de calcário aplicadas na superfície e sem incorporação ao solo.

4.5 Produtividade

As doses de calcário não apresentaram respostas significativas na produtividade da cultura, provavelmente devido ao tempo que este calcário levaria para reagir, aliado a médias pluviosidades. Resultados similares também foram observados por Moreira et al. (2001) quando diferentes doses de calcário aplicados em superfície não influenciaram na produtividade da cultura do milho quando feita em SPD 2 anos após a calagem.

Tabela 4 - Produtividade do milho em função dos tratamentos.

Dose Mg ha^{-1}	Estiva II Milho (kg ha^{-1}) ¹⁾
0	15862,8
2	16543,7
4	15781,1
6	16294,3
8	15411,8
8 inc	16903,5
Efeito	NS

Fonte: Do autor (2021).

5. CONCLUSÕES

Os teores de micronutrientes não foram alterados, indicando que a recomendação de doses de calcário para áreas sob SPD não deve ser um fator preocupante com relação à disponibilidade destes, enquanto os níveis de Ca e Mg foram elevados em superfície.

A aplicação de calcário com incorporação ao solo promoveu alterações mais rápidas nos atributos químicos do solo em subsuperfície. No entanto, não houve um aumento significativo na produtividade da cultura em relação aos demais tratamentos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Jackson Adriano et al. **Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido**. Revista Brasileira de ciência do Solo, v. 27, p. 799-806, 2003.
- ALVAREZ, V.V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, p. 359, 1999.
- BARBER, Stanley A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. John Wiley & Sons, 414 p. 1995.
- BOLLIGER, Adrian et al. **Taking stock of the Brazilian “zero-till revolution”: A review of landmark research and farmers' practice**. Advances in agronomy, v. 91, p. 47-110, 2006.
- CAIRES, Eduardo Fávero. **Calagem na Superfície em Sistema Plantio Direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24 (1):161-69, 2000.
- CHAPLA, Marlus Eduardo. **Calagem superficial em área de plantio direto**. Universidade Federal de Mato Grosso. 2017.
- CORBEELS, Marc et al. **Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil**. Scientific Reports, v. 6, n. 1, p. 21450, 2016.
- FAGERIA, Nand Kumar. **Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado**. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 36, p. 1419-1424, 2001.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. **Micronutrients in crop production**. Advances in Agronomy, n. 77, p. 185-268, 2002.
- FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. **Efficient crop production**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999.
- FAO. **How to Feed the World in 2050. Outlook for Food Security towards 2050. Proceedings of The Fsn Forum Discussion n° 43**. How To Feed The World In 2050? 16 september to 19 october 2009. Disponível em: < http://assets.fsnforum.fao.org.s3-eu-west.amazonaws.com/public/files/43_Feed_World_2050/PROCEEDINGS%20How%20to%20Feed%20the%20World%20in%202050.pdf >. Acesso em: 9 fev. 2021
- FOLONI, José Salvador Simoneti et al. **Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem**. In: Colloquium Agrariae, p. 27-35, 2008.
- FRÓNA, Dániel; SZENDERÁK, János; HARANGI-RÁKOS, Mónika. **The challenge of feeding the world**. Sustainability, v. 11, n. 20, p. 5816, 2019.
- GOV. **Por que Exportar?**. Governo Federal do Brasil – Serviços e Informações do Brasil. 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/siscomex/pt-br/servicos/aprendendo-a-exportar/por-queexportar-1> >. Acesso em: 01 jul. 2023.
- MELINSKI, Albert Matheus. **Produtividade de soja e milho em função das práticas de rotação e calagem superficial em plantio direto**. Universidade Federal do Paraná, 2020.

- MOREIRA, S. G. et al. **Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 71-81, 2001.
- MOREIRA, S. G. et al. **Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage.** Acta Scientiarum-Agronomy, v. 39, p. 89, 2017.
- OHLAND, Tatiane; LANA, Maria do Carmo; FRANDOLOSO, Jucenei Fernando. **Diferentes doses de calcário aumentam a absorção de nutrientes pelo pinhão-mansão.** Ciência Florestal, v. 29, p. 1333-1342, 2019.
- PAVINATO, P. S. et al. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná.** [S.l: s.n.], 2017.
- PEIXOTO, Devison Souza et al. **A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil.** Soil and Tillage Research, v. 194, p. 104307, 2019.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC & Fundação IAC, p. 285, 1996.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. **Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 797- 805, 2000.
- RHOTON, F.E. **Influence of time on soil response to no-till practices.** Soil Science Society of America Journal, v. 64, p. 700-709, 2000.
- ROSOLEM, Ciro Antonio; BÍSCARO, Thaís. **Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, p. 1473-1478, 2007.
- SETA, A.K.; KARATHANASIS, A.D. **Stability and transportability of water-dispersible soil colloids.** Soil Science Society of America Journal, v. 61, n. 2, p. 604-611, 1997.
- SILVA, F. C. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** EMBRAPA, Informação Tecnológica, 2º ed., 627 p., 2009.
- SILVA, I.R. da; MENDONÇA, E. de. S. **Matéria orgânica do solo.** In: NOVAIS, R.F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 6, p. 275-357, 2007.
- SOARES, Marcio Roberto; CASAGRANDE, José Carlos; ALLEONI, Luis Reynaldo Ferracciú. **Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 111-120, 2008.
- SORATTO, Rogério Peres; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa. **Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 675-688, 2008.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção. Fertilidade do solo.** Viçosa: SBCS, cap. 5, p. 205-274, 2007.

SOUZA, Renata Carolini et al. **Shifts in taxonomic and functional microbial diversity with agriculture: How fragile is the Brazilian Cerrado?**. *Bmc Microbiology*, v. 16, p. 1-15, 2016.

TISSI, Josinei Antonio; CAIRES, Eduardo Fávero; PAULETTI, Volnei. **Efeitos da calagem em semedura direta de milho**. *Bragantia*, v. 63, p. 405-413, 2004.

USDA. **Grain and Feed Annual** . States Department of Agriculture, 2023. Disponível em: < <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-grain-and-feed-annual-9> >. Acesso em: 01 jul. 2023.

VELASCO-MUÑOZ, Juan F. et al. **Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 170, p. 105618, 2021.

WAKWOYA, Mathewos Bekele; WOLDEYOHANNIS, Wassie Haile; YIMAMU, Fassil Kebede. **Effects of minimum tillage and liming on maize (*Zea mays* L.) yield components and selected properties of acid soils in Assosa Zone, West Ethiopia**. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 8, p. 100301, 2022.

WILKINSON, John. **Brasil e China na nova onda de inovações no sistema agroalimentar global**. *Revista do Serviço Público*, v. 74, n. 1, p. 229-263, 2023.

XAVIER, Clariana Valadares et al. **Crop rotation and succession in a no-tillage system: Implications for CO₂ emission and soil attributes**. *Journal of Environmental Management*, v. 245, p. 8-15, 2019.

YAGI, Renato. **Occasional soil tillage, liming, and nitrogen fertilization on long-term no-tillage system**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, p. 833-839, 2018.