

Produtividade de grãos da soja em função da aplicação superficial e residual de calcário

Soybean grain yield as a function of surface and residual lime application

Rendimiento de grano de soja en función de la aplicación de cal superficial y residual

Recebido: 10/01/2022 | Revisado: 14/01/2022 | Aceito: 20/01/2022 | Publicado: 22/01/2022

Jéssica Ferreira Diniz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2295-1010>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: ferreiradiniz@hotmail.com

Cassiano Garcia Roque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6872-0424>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: cassiano.roque@ufms.br

Rafael Felipe Ratke

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6930-3913>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: rafael.ratke@ufms.br

Renato Nunes Vaez

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8633-9563>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: renato.vaez@hotmail.com

Paulo Eduardo Teodoro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8236-542X>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: paulo.teodoro@ufms.br

Jorge González Aguilera

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7308-0967>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: jorge.aguilera@ufms.br

Cid Naudi Silva Campos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6810-885X>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: cid.campos@ufms.br

Leandris Argentele-Martínez

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0353-2251>
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Bâcum Sonora, México
E-mail: oleinismora@gmail.com
E-mail: oleinismora@gmail.com

Job Teixeira de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9046-0382>
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: job.oliveira@hotmail.com

Resumo

A reação do calcário limita-se ao local de sua aplicação no solo, havendo dúvidas sobre sua eficiência em reduzir a acidez em profundidade quando aplicado superficialmente sem incorporação. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar o movimento e resíduo de diferentes doses de calcário no perfil do solo e sua influência na produtividade de grãos de soja. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. O calcário foi aplicado manualmente por lanço, sem incorporação. Um mês após o plantio da soja, estimou-se o rendimento de cada tratamento. Após a colheita, a amostragem do solo foi realizada em três profundidades para análises químicas. No ano seguinte, o plantio da soja e as mesmas avaliações foram realizadas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Houve efeito residual, movimentação e melhor eficiência do calcário no perfil do solo a partir da aplicação da dose recomendada. A produtividade dos grãos aumentou à medida que os percentuais da dose recomendada de calcário aumentaram na primeira safra, na safra seguinte apresentou melhor produtividade na dose recomendada.

Palavras-chave: *Glycine max*; Residual; Cal; Acidez do solo.

Abstract

The limestone reaction is limited to the place of its application in the soil, so there are doubts about its efficiency in reducing acidity in depth when applied superficially without incorporation. Therefore, the objective of this work was to analyze the movement and residual of different doses of lime in the soil profile and its influence on soybean grain productivity. The experimental design used was randomized blocks with six treatments and four replications. The limestone was applied manually by haul, without incorporation. One month after the planting of soybeans, the yield of each treatment was estimated. After harvesting, soil sampling was done at three depths for chemical analysis. In the following year, soybean planting and the same evaluations were carried out again. The data obtained were subjected to analysis of variance and when significant, the means were compared using the Tukey test. There was a residual effect, movement and better efficiency of the limestone in the soil profile from the application of the recommended dose. Grain productivity increased as the percentages of the recommended dose of limestone increased in the first harvest, in the following harvest it showed better productivity in the recommended dose.

Keywords: *Glycine max*; Residual; Liming; Soil acidity.

Resumen

La reacción de la piedra caliza se limita al lugar de su aplicación en el suelo, por lo que existen dudas sobre su eficacia en la reducción de la acidez en profundidad cuando se aplica superficialmente sin incorporación. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar el movimiento y residuo de diferentes dosis de cal en el perfil del suelo y su influencia en la productividad del grano de soja. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. La caliza se aplicó manualmente por arrastre, sin incorporación. Un mes después de la siembra de la soja, se estimó el rendimiento de cada tratamiento. Después de la cosecha, el muestreo del suelo se realizó a tres profundidades para el análisis químico. Al año siguiente se volvió a realizar la siembra de soja y las mismas evaluaciones. Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y cuando fueron significativos, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Hubo efecto residual, movimiento y mejor eficiencia de la caliza en el perfil del suelo a partir de la aplicación de la dosis recomendada. La productividad del grano aumentó a medida que aumentaron los porcentajes de la dosis recomendada de caliza en la primera cosecha, en la siguiente cosecha mostró una mejor productividad en la dosis recomendada.

Palabras clave: *Glycine max*; Residual; Encalado; Acidez del suelo.

1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal cultura produzida no Brasil e devido sua grande importância econômica há constante busca por práticas que levem a altas produtividades. A área brasileira de soja deverá apresentar crescimento de 3,5% em comparação à safra anterior, atingindo 40,3 milhões de hectares, enquanto a produção passa a atingir 142 milhões de toneladas, com aumento de 3,4% em relação à safra 2020/21. Uma preocupação destacada pelos produtores nesta temporada está relacionada aos custos com fertilizantes, defensivos e sementes, que apresentaram, neste ano, fortes incrementos (CONAB, 2021).

Na região tropical, tem-se com alta frequência solos ácidos, os quais limitam o crescimento e produção da maioria das culturas de interesse econômico (Prado, 2003). A acidez presente nos solos do Bioma Cerrado atinge as camadas subsuperficiais, onde a toxidez por alumínio e/ou baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem uma boa produtividade das culturas, pelo fato de limitar o crescimento radicular, influenciando a absorção de água e de nutrientes em profundidade (Furtini Neto et al., 2001).

Atualmente, a calagem está dentre as várias tecnologias disponíveis à agricultura, pois apresenta potencial em promover grande retorno econômico. De acordo com Caires et al. (2004), a calagem é a prática mais efetiva para elevar o pH e a saturação por bases, fornece Cálcio e Magnésio, e reduzir o Alumínio tóxico e o excesso de Manganês no solo. A necessidade de calagem pode ser definida como a quantidade de calcário para aumentar o pH, ou o V%, de uma condição ácida inicial, a um valor desejado, de maneira que seja adequado para o crescimento das plantas e ainda a neutralização da toxidez do Al^{3+} (Raij & Quaggio, 2001).

A correção do solo é importante não só no ano agrícola de sua aplicação, mas também em anos sucessivos, isto é, em seu efeito residual (Alovisi et al., 2018). Proporcionando um certo período de aproveitamento do calcário pelas culturas

subsequentes, refletindo na economia de produção. O que torna importante o conhecimento da durabilidade e eficiência da calagem.

Na agricultura é essencial a busca por um sistema de cultivo que melhore a estrutura do solo, causando menor impacto ambiental ao longo do tempo (Villa et al., 2017). Sendo assim, é importante a adoção de um sistema de cultivo que contribua para melhoria da qualidade física e química do solo, aumentando a produtividade das culturas e reduzindo o custo de produção (Melo et al., 2007).

Entretanto, a reação do calcário é limitada ao local de sua aplicação no solo e o efeito da calagem na redução da acidez do subsolo se torna lento, uma vez que depende da lixiviação de carbonatos através do perfil do solo. Estima-se que a solubilidade do CaCO_3 é de $0,014 \text{ g L}^{-1}$ e o MgCO_3 de $0,106 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C , demonstrando que o carbonato de cálcio possui menor solubilidade em água em relação ao carbonato de magnésio (Alcarde & Rodella, 2003).

Dessa maneira, visando a prática da calagem superficial, objetivou-se através desse trabalho, analisar a movimentação e residual de diferentes doses de calcário no perfil do solo e sua influência na produtividade da cultura da soja.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no município de Chapadão do Céu – GO, $18^\circ 24' 27''$ S de latitude, $52^\circ 32' 56''$ W de longitude e altitude de 720 m. De acordo com a classificação de Köppen (1928), o clima predominante é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação e temperatura média anual de 1627 mm e $22,5^\circ\text{C}$ respectivamente, segundo dados da Usina Cerradinho Bio. Anteriormente a instalação do experimento, na área havia a sucessão de culturas de soja na safra e milho segunda safra, sem o revolvimento do solo.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018) o solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, e segundo ao Sistema Internacional (WRB/FAO, 1998) como Ferralsol. Para a caracterização da área experimental foi realizada uma amostragem de solo antes da implantação do experimento (Tabela 1).

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, cada parcela foi formada por 9 linhas com 6 metros de comprimento, totalizando uma área de $24,3 \text{ m}^2$. Os tratamentos utilizados foram T1 = controle, T2 = 30% da dose recomendada (0,964 kg por parcela), T3 = metade da dose recomendada (1,607 kg por parcela), T4 = dose recomendada (3,215 kg por parcela), T5 = 150% da dose recomendada (4,822 kg por parcela), T6 = dobro da dose recomendada (6,430 kg por parcela). A recomendação foi realizada com base na análise do solo, através do cálculo da necessidade de calagem por saturação por base, buscando atingir a saturação de base de 60% para a semeadura da soja.

Tabela 1. Análise química do solo antes da instalação do experimento realizada na profundidade de 0,00-0,20 m.

pH	MO	P meh^{-1}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB*	CTC*	V*
	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	-----cmol dm^{-3} -----						%
4,6	21,2	21,6	0,2	2,3	0,6	5,9	3,9	9,0	34,3
-----Interpretação**-----									
Médio	Médio	Alto	Adequado	Adequado	Adequado	- ---	Alto	Médio	
S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia	
-----mg dm^{-3} -----		-----mg dm^{-3} -----	-----Meh1-----			-----Textura (g dm^{-3})-----			
12,6	0,3	0,5	58,0	11,3	1,8	500	50	450	
-----Interpretação**-----									
Médio	Baixo	Médio	Alto	Alto	Alto				

*SB (soma das bases) ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$), CTC potencial (Capacidade de troca cátions a pH 7) ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H} + \text{Al}$), V (saturação por bases) ($(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+)/\text{CTC}$), **Sousa e Lobato (2004). Fonte: Autores.

Em setembro de 2018 foi realizada calagem manualmente a lanço, utilizando o calcário dolomítico com PRNT 90%, composto por óxido de Cálcio de 29% e óxido de Magnésio de 20%.

Em 01 de outubro de 2018 ocorreu a semeadura da soja, mecanicamente, utilizando a cultivar CODTEC 2737. Foi realizada a adubação no momento da semeadura utilizando 80 kg.ha⁻¹ de MAP (41,6 Kg de P, 8,8 Kg de N) e adubação de cobertura utilizando 90 Kg.ha⁻¹ de K₂O. Foi seguido os tratos culturais realizado pelo produtor na área total, não houve mudanças no experimento.

No dia 23 de janeiro de 2019 foi realizada a colheita da soja e analisado sua produtividade. Para avaliação da produtividade da cultura da soja foram colhidos três metros das três linhas principais de cada parcela. As plantas foram trilhadas, realizou-se o peso de cada parcela e calculou-se a produtividade levando em consideração 13% de umidade.

Nesse mesmo dia, ocorreu a amostragem de solo (Experimento 1) com auxílio de um trado holandês, onde coletou três amostras simples nas entrelinhas da soja, que foram homogeneizadas em um balde, formando uma amostra composta, nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m em cada parcela. As amostras de solo foram levadas para o laboratório, dispostas sobre jornal para sua secagem. Após secas as amostras foram destorroadas e peneiradas em peneiras de 2 mm.

Em 10 de outubro de 2019 ocorreu novamente a semeadura da soja, utilizando a mesma cultivar e adubação que na semeadura anterior, entre os plantios a área ficou em pousio. Em janeiro 10 de fevereiro 2020 foi realizado a colheita da soja e uma nova amostragem de solo (Experimento 2), seguindo os mesmos critérios adotados anteriormente.

Nas amostras de solos coletadas foram analisados pH, H+Al, Ca, Mg, P, K, Fe, Mn, Zn e Cu seguindo as instruções do manual de análise de solo da Embrapa (Teixeira et al. 2017).

Os dados obtidos em cada variável avaliada foram submetidos a análise de variância (ANOVA) de classificação (única ou dupla), baseada em um modelo linear de efeitos fixos com arranjo (unifatorial / factorial) e quando houverem diferenças entre os tratamentos estes foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram determinados os indicadores estatísticos: coeficiente de variação, erro padrão da média dos tratamentos, coeficiente de determinação e erros tipo I e II.

3. Resultados e Discussão

Na primeira análise de solo (Experimento 1), a interação entre os fatores profundidade e doses de calcário influenciaram o pH, teor de H+Al, e os macronutrientes cálcio, magnésio, potássio e fósforo (Tabela 2). Já na segunda análise de solo (Experimento 2), a interação ocorreu apenas para H+Al, Mg e P, entre tanto, o pH diferenciou-se ($P < 0,05$) apenas para a profundidade e o Ca para ambos os fatores (profundidade e dose) de modo independente.

Tabela 2. Análise de variância para pH, H+Al e macronutrientes do solo (Ca, Mg, K e P) sob diferentes porcentagens da dose recomendada de calcário e profundidades.

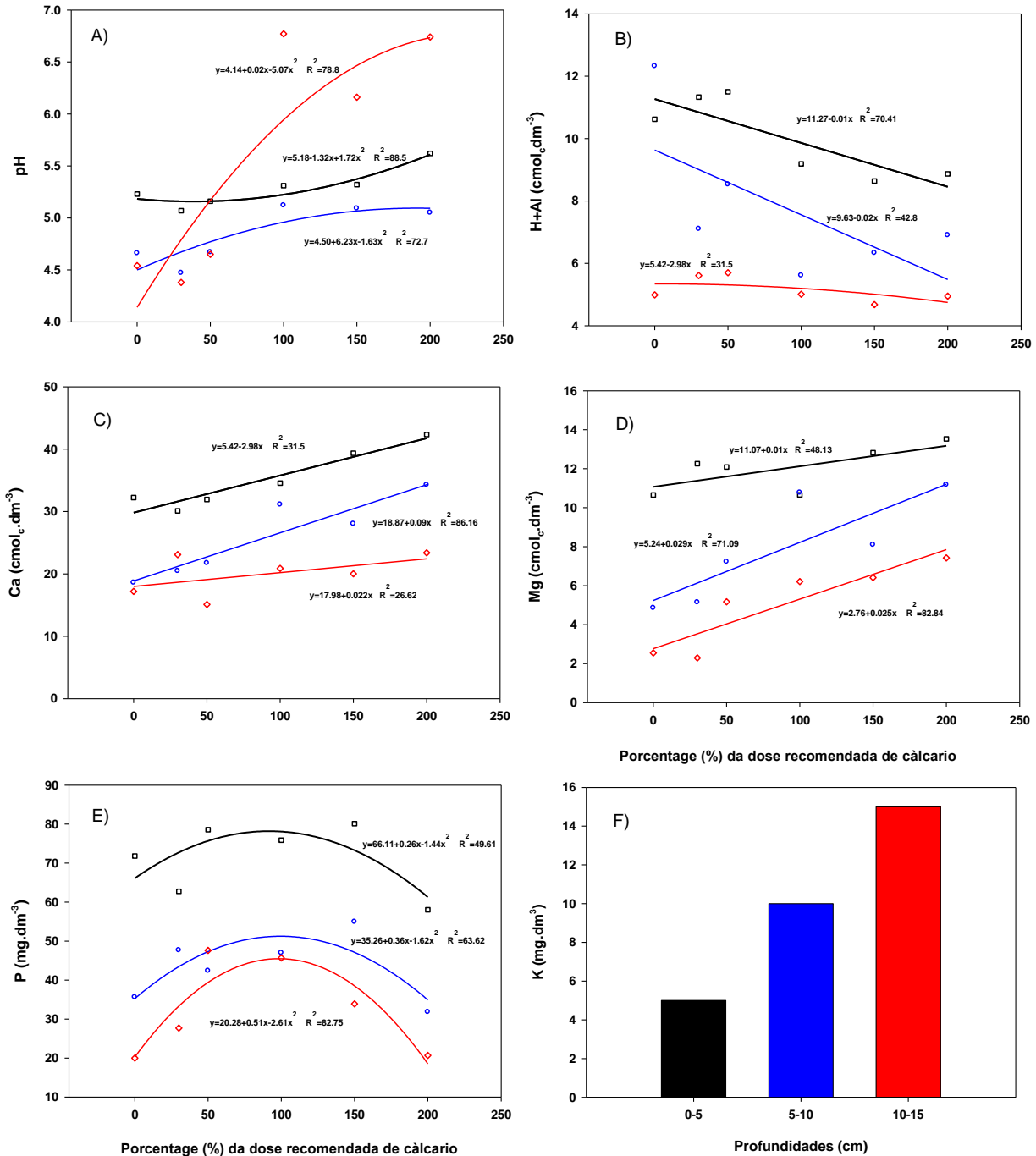
Fontes de variação	GL	Quadrados médios					
		pH	H+Al	Ca	Mg	K	P
Experimento 1 (23 de janeiro de 2019)							
Bloco	3	4,40 ^{ns}	4,03 ^{ns}	3,25 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,87 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Profundidade (P)	2	31,42*	249,44*	623,74*	532,13*	37,35*	399,87*
Erro 1	6	-	-	-	-	-	-
Dose (D)	5	49,11*	47,20*	47,14*	104,04*	4,13 ^{ns}	33,43*
Interação PxD	10	17,85*	21,89*	3,16*	21,38*	2,64 ^{ns}	6,91*
Erro 2	45	-	-	-	-	-	-
Experimento 2 (10 de fevereiro de 2020)							
Bloco	3	14,24*	4,14 ^{ns}	16,65*	24,04*	-	1,31 ^{ns}
Profundidade (P)	2	359,56*	97,56*	730,56*	1858,63*	-	3132,20*
Erro 1	6	-	-	-	-	-	-
Dose (D)	5	1,82 ^{ns}	5,32*	4,03*	8,92*	-	120,48*
Interação PxD	10	0,69 ^{ns}	2,66*	1,62 ^{ns}	5,57*	-	46,69*
Erro 2	45	-	-	-	-	-	-

^{ns}: não significativo, e * significativo pelo teste F ($P > 0,05$). Fonte: Autores.

A profundidade de 0,00-0,05m, na Experimento 1, apresentou maiores médias de pH nas doses mais baixas (0, 30 e 50 % da dose recomendada) de calcário, diferindo estatisticamente das demais. Entretanto, a profundidade de 0,10-0,15 m apresentou maiores médias de pH nas doses mais altas (100, 150 e 200 % da dose recomendada), diferindo estatisticamente das demais (Figura 1A). As doses de calcário em relação ao pH apresentaram comportamento quadrático para todas as profundidades amostradas com coeficientes de correlação elevados ($R^2 > 70\%$).

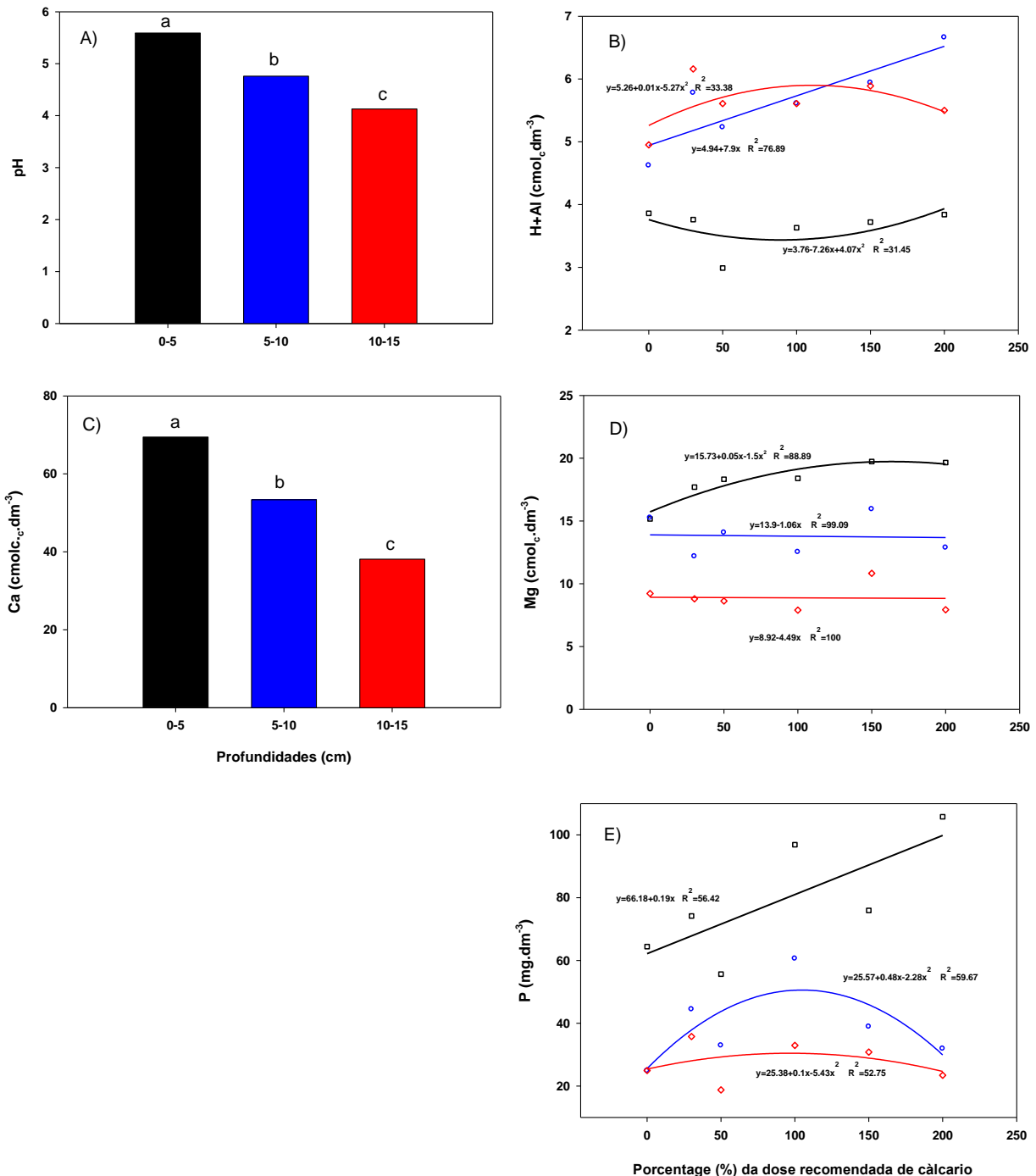
A ausência de revolvimento do solo para incorporação do calcário, trouxe como resultado a movimentação do calcário no perfil do solo no Experimento 1 (Figura 1A), conforme se aumentou a dose de calcário aplicada, tal comportamento também foi observado por Kaminski et al. (2005). Já na Experimento 2 (Figura 2A) observamos que apenas ocorreu efeito da profundidade de aplicação, sendo a camada de 0,00-0,05m apresentou maior valor de pH, diferindo das demais profundidades ($P < 0,05$).

Figura 1. Porcentagens da dose recomendada de calcário no Experimento 1 para os atributos do solo [pH (A), H+Al (B)] e macro nutrientes [Ca (C), Mg (D) e P (E)]. Conteúdo de K em (F) nas diferentes profundidades amostradas de solo. As curvas das equações de regressão estão associadas às diferentes profundidades amostradas: cor preta 0.00-0.05 m, cor azul 0.05-0.10 m, e cor vermelha 0.10-0.15 m. Barras seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Fonte: Autores.

Figura 2. Comparações do pH (A) e conteúdo de Ca em (C) nas diferentes profundidades amostradas de solo. Porcentagens da dose recomendada de calcário no Experimento 2 para o H+Al (B), Mg (D) e P (E). As curvas das equações de regressão estão associadas às diferentes profundidades amostradas: cor preta 0.00-0.05 m, cor azul 0.05-0.10 m, e cor vermelha 0.10-0.15 m. Barras seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Fonte: Autores.

Em relação aos teores de H+Al, no Experimento 1, a profundidade de 0,00-0,05m apresentou as maiores médias em 30, 50, 100, 150 e 200% diferindo da não aplicação de calcário. Já a profundidade de 0,05-0,10m apresentou maior média na dose 0 de calcário (Figura 1B). Em relação às doses, para os teores de hidrogênio mais alumínio no Experimento 1, houve comportamento linear decrescente com as maiores médias na profundidade de 0,00-0,05 m (Figura 1B).

No Experimento 2, observamos uma inversão da resposta obtida em relação aos teores de H+Al no Experimento 1, onde a profundidade de 0,00-0,05m apresentou menores teores de H+Al (Figura 2B). No Experimento 2 as porcentagens de dose de calcário recomendada, apresentaram comportamento linear crescente na profundidade de 0,05-0,10m e nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m houve ajuste do modelo quadrático, onde atingiu-se ponto de mínima 91,25% da dose recomendada, a partir desse ponto houve acréscimo de H+Al e máxima de 103% e a partir desse ponto houve acréscimo, respectivamente (Figura 2B).

Comparando as duas análises feitas em ambos os experimentos podemos observar que houve redução do teor de H+Al do Experimento 1 para o Experimento 2, também observado por Costa et al. (2016). Essa resposta indica que houve maior reação do calcário durante esse período de tempo (janeiro 2019), principalmente na camada de 0,00-0,05m.

O pH do solo é a concentração do íon H^+ na solução do solo. A aplicação de calcário reduz a acidez do solo pela conversão de uma parte desses íons H^+ em água. Os íons de cálcio se aderem ao colóide de solo nos sítios de troca, substituindo o Al^{3+} e os íons de carbonato reage com a solução do solo criando um excesso de hidroxila (OH^-) que, em seguida, reagem o H^+ , formando água (Lopes, 1998). Quando o calcário é aplicado superficialmente, tem-se observado maior diminuição do Al^{3+} nas camadas superficiais de (SÁ, 1995), tendendo a correção da acidez atingir às camadas subsuperficiais ao longo do tempo de cultivo (Caires et al., 1999).

Outro fator importante a destacar no manejo do pH do solo é que a maioria dos nutrientes tem sua disponibilidade prejudicada em condições de pH baixo, em consequência da acidez do solo. É necessário diminuir ou neutralizar a acidez do solo para que seja possível aumentar a disponibilidade dos nutrientes e, assim, dar condições para que as plantas possam nutrir-se de forma adequada e aumentar a eficiência dos fertilizantes aplicados, melhorando a fertilidade do solo e aumentando a produtividade das culturas (CQFSRS/SC, 2016).

Para cálcio na Experimento 1, a profundidade de 0,00-0,05m apresentou maiores médias diferindo estatisticamente das demais profundidades, manifestando comportamento linear crescente em resposta às doses de calcário (Figura 1C). Para este macronutriente no Experimento 2 não houve interação entre os fatores profundidade e doses, a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou maior teor de cálcio diferindo das demais profundidades (Figura 2C).

Em ambos os experimentos houve maior teor de cálcio na camada de 0,00-0,05m, isso está ligado à sua pouca solubilidade e como não foi incorporado, ficou retido na camada superficial do solo. A movimentação do cálcio no perfil do solo pode depender de fatores que auxiliarão e/ou impedir o deslocamento vertical, a movimentação das partículas finas de calcário pode ser influenciada pela estruturação do solo e pela mobilização química do Ca nas formas inorgânicas, principalmente com sais de nitrato e sulfato, e orgânicas (Caires, 2013). Outra possibilidade da não descida do Ca pode estar associada ao pouco tempo de reação do calcário, podendo não ter sido o suficiente para propiciar uma maior descida do íon Ca no perfil do solo, como também foi observado por Borgmann (2019). Tal explicação explica o fato de que na Experimento 2 (Figura 2C) maiores teores de Ca do que a Experimento 1 (Figura 1C).

O teor de magnésio no solo apresentou maiores médias na profundidade de 0,00-0,05m diferindo das demais, porém na dose recomendada as profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,15m apresentaram maiores médias não diferindo entre si, com comportamento linear crescente (Figura 1D). Na Experimento 2, também observamos que a profundidade de 0,00-0,05m apresentou maior teor de magnésio diferindo das demais, com ponto de máximo próximo a dose de 150% para todas as profundidades avaliadas (Figura 2D).

O Mg, está dentre os elementos favorecidos pela ação da calagem, onde sua disponibilidade é favorecida pelo aumento do pH do solo (Sousa et al., 2007). Isso explica a maior concentração de Mg nas camadas mais superficiais do solo, com maior pH e observa-se que conforme se aumenta a dose de calcário, conseqüentemente se eleva o pH, sendo assim aumenta o teor de

Mg no solo (Figura 1D e Figura 2D). Os aumentos na disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} , principalmente na camada superficial (0,00-0,05m), com a aplicação superficial de calcário também foi observado no trabalho de Rodrighero et al. (2015).

Os teores de fósforo, mostraram-se com igual comportamento entre os dois experimentos, sendo a profundidade de 0,00-0,05m quem apresentou as maiores médias diferindo das demais, independente das porcentagens das doses recomendadas de calcário (Figura 1E e Figura 2E). Para as doses na Experimento 1, houve ajuste do modelo quadrático, onde apresentaram acréscimo no teor de fósforo até 94,18%, 95,61% e 98,1% da dose recomendada nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m respectivamente. A partir desse ponto houve decréscimo até o dobro da dose recomendada de calcário (Figura 1E).

Na Experimento 2, também houve ajuste no modelo quadrático para as doses nas profundidades de 0,10-0,15 e 0,10-0,15, onde obtiveram ponto de máxima em 103,59 % e 104,8% da dose recomendada de calcário, respectivamente, resultados semelhantes com a da primeira análise. E para profundidade de 0,0-0,05 houve ajuste do modelo linear crescente (Figura 2E).

Pelo fato da aplicação de corretivos em solos ácidos elevar o pH, aumentar as cargas negativas no complexo de troca e diminuir a solubilidade do Al^{3+} e do Fe^{+2} , a disponibilidade de P na solução do solo e a retenção de cátions são aumentadas (Ernani et al., 2000). A elevação do pH principalmente nas primeiras camadas do solo, permite a maior disponibilidade de P oriundo dos fosfatos solúveis, o tornando mais disponível para as plantas nesta dada condição (Dias et al., 2015), como foi observado na profundidade de 0,00-0,05m em ambos os experimentos (Figura 1E e Figura 2E).

No entanto, segundo Furtini Neto et al. (2004), em Latossolos da região de cerrado, a utilização da calagem para elevar o pH para próximo de 7,0 é um grande risco, devido prejudicar a estruturação do solo e, conseqüentemente, a aeração e percolação de água, pela substituição do Al^{3+} pelo Ca^{2+} nos colóides do solo, além de reduzir a disponibilidade de fósforo pela precipitação de fosfatos com cálcio, e também pela redução da disponibilidade e, conseqüentemente, a absorção de micronutrientes catiônicos, notadamente em solos com baixa disponibilidade inicial dos mesmos.

No Experimento 1, o micronutriente (Fe^{3+}) foi influenciado pelo fator profundidade. A interação entre profundidade e dose foi significativa para Cu, Zn e Mn (Tabela 3). Entretanto, no Experimento 2, o elemento Cu foi influenciado pelo fator profundidade e dose separadamente. Já para Fe, Zn e Mn apresentaram interação significativa entre os fatores profundidade e dose (Tabela 3).

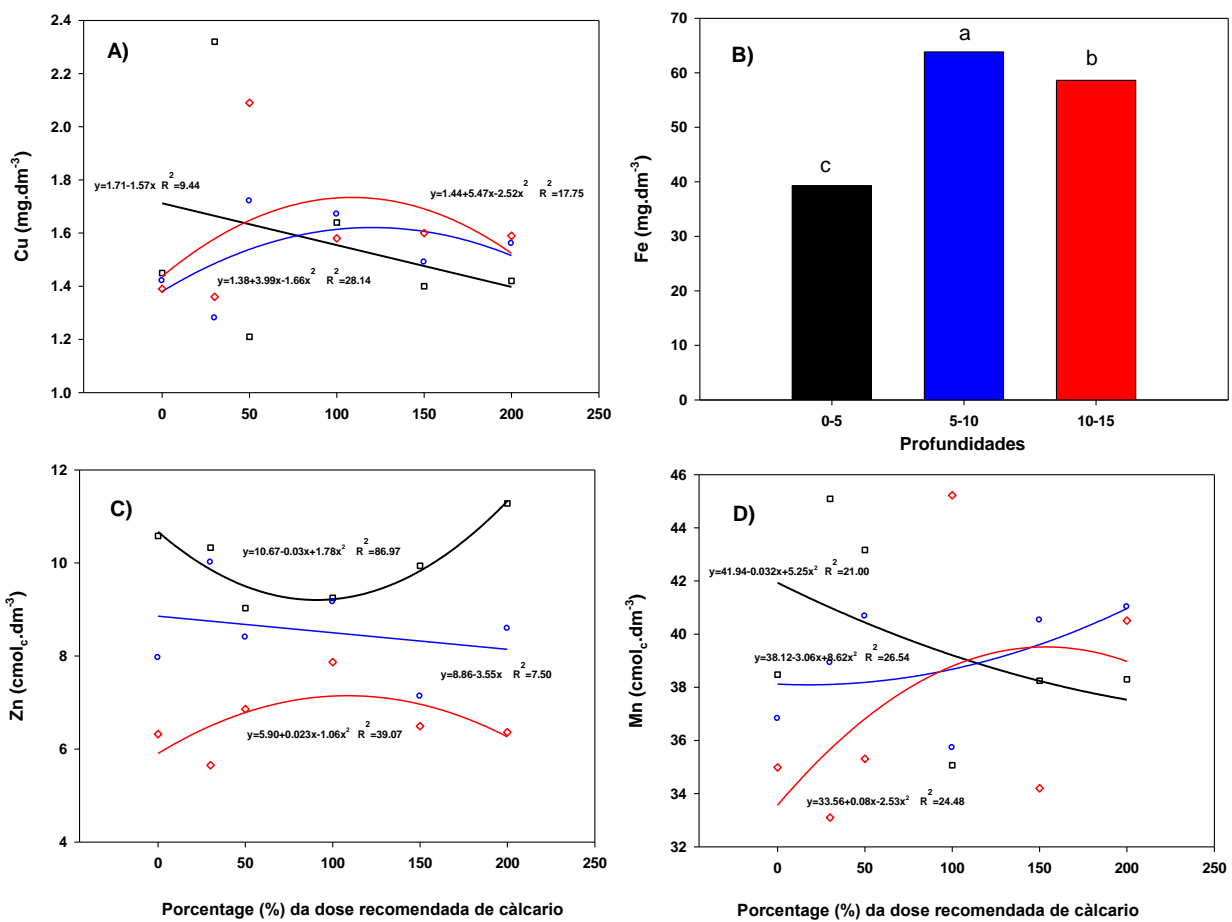
Tabela 3. Análise de variância para os micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn) do solo manejado com diferentes doses de calcário e profundidades.

Fontes de variação	L	G	Quadrados médios			
			Cu	Fe	Zn	Mn
Experimento 1 (23 de janeiro de 2019)						
Bloco	3		0,44 ^{ns}	4,23 ^{ns}	2,52 ^{ns}	1,83 ^{ns}
Profundidade (P)	2		0,059 ^{ns}	22,42*	113,67*	6,62*
Erro 1	6		-	-	-	-
Dose (D)	5		3,59*	2,81 ^{ns}	2,41*	1,14 ^{ns}
Interação Px D	10		12,34*	0,76 ^{ns}	5,47*	2,96*
Erro 2	45		-	-	-	-
Experimento 2 (10 de fevereiro de 2020)						
Bloco	3		1,72 ^{ns}	2,25 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,47 ^{ns}
Profundidade (P)	2		8,87*	598,16*	216,56*	2253,27*
Erro 1	6		-	-	-	-
Dose (D)	5		3,02*	40,17*	4,05*	8,77*
Interação Px D	10		1,01 ^{ns}	44,76*	3,24*	13,08*
Erro 2	45		-	-	-	-

^{ns}: não significativo, e * significativo pelo teste F ($P > 0,05$). Fonte: Autores.

Para o elemento cobre, no Experimento 1, houve diferença entre as profundidades apenas em 30 e 50% da dose recomendada de calcário (Figura 3A). Em relação às porcentagens da dose de calcário recomendada, houve ajuste no modelo de regressão apenas para profundidade de 0,10-0,15 m, onde se ajustou ao modelo quadrático. O teor de cobre teve acréscimo até a dose de 83,33 % da dose recomendada de calcário e a partir desse ponto houve decréscimo até o dobro da dose recomendada de calcário (Figura 3A). Besen et al. (2017) observou que conforme aumentou-se a dose de calcário diminuiu o teor de Cobre.

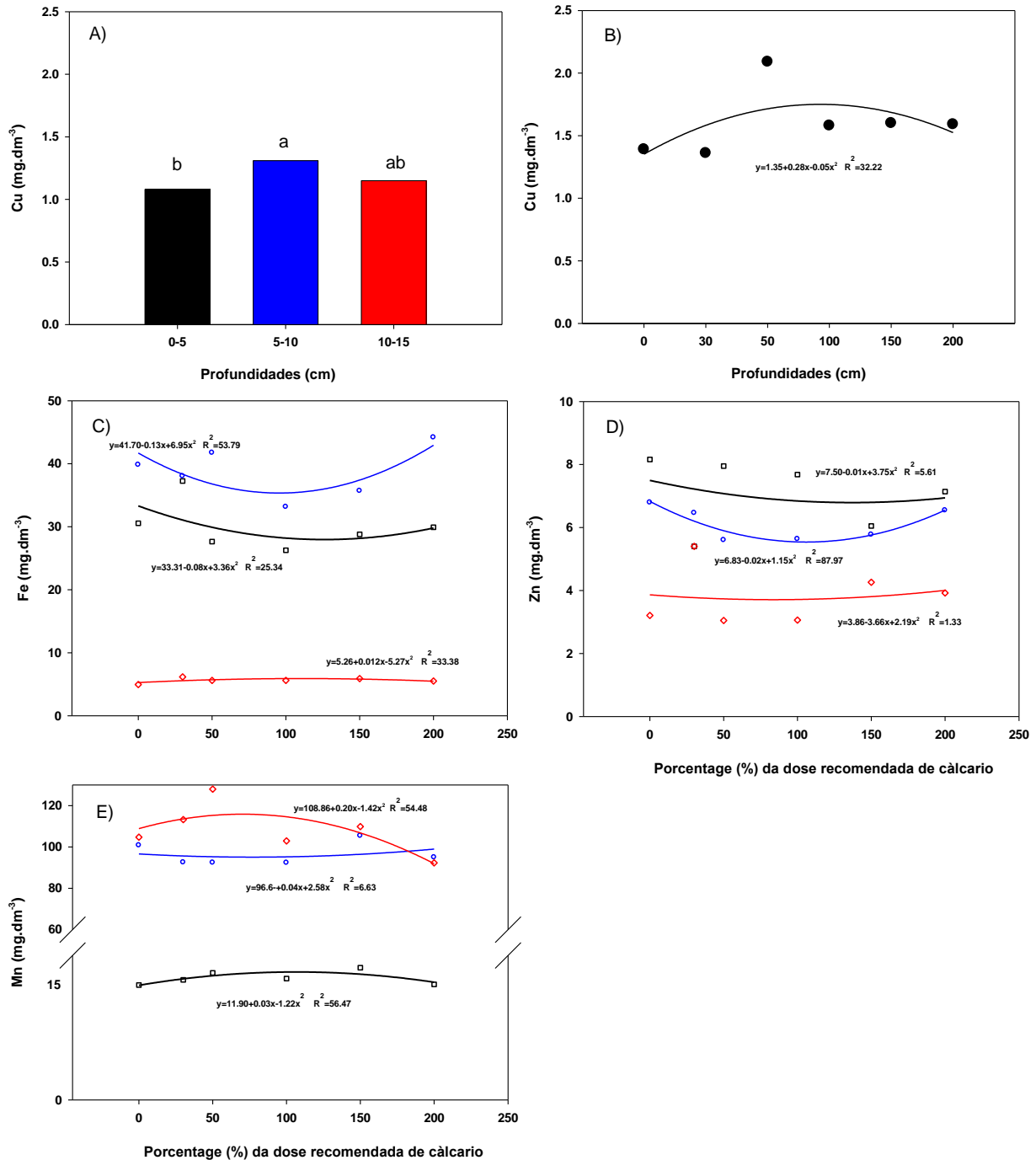
Figura 3. Porcentagens da dose recomendada de calcário no Experimento 1 para os micronutrientes Cu (A), Zn (C) e Mn (D) do solo. Conteúdo de Fe em (B) nas diferentes profundidades amostradas de solo. As curvas das equações de regressão estão associadas às diferentes profundidades amostradas: cor preta 0.00-0.05 m, cor azul 0.05-0.10 m, e cor vermelha 0.10-0.15 m. Barras seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Fonte: Autores.

No Experimento 2 o micronutriente Cu não apresentou interação entre os fatores avaliados (Tabela 3). No elemento Cu a profundidade 0,05-0,10m apresentou maior média diferindo da profundidade de 0,00-0,05m (Figura 4A). Em relação às doses, houve ajuste do modelo quadrático onde apresentou ponto de máxima de 66,6% da dose recomendada (Figura 4B). Resultado semelhante ao do Experimento 1 (Figura 3A).

Figura 4. Comparações do Cu nas diferentes profundidades (A) e doses de calcário (B) aplicadas no solo. Porcentagens da dose recomendada de calcário no Experimento 2 para os micronutrientes Fe (C), Zn (D) e Mn (E). As curvas das equações de regressão estão associadas às diferentes profundidades amostradas: cor preta 0.00-0.05 m, cor azul 0.05-0.10 m, e cor vermelha 0.10-0.15 m. Barras seguidas por letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



Fonte: Autores.

O elemento ferro, no Experimento 1 não manifestou interação entre os fatores, apresentando a maior média na profundidade de 0,05-0,10m, diferindo das demais (Figura 3B). No Experimento 2, a profundidade de 0,05-0,10 m apresentou maiores teores de Fe nas doses 0, 30, 100 e 150% da dose de calcário recomendada diferindo das demais (Figura 4C). Houve ajuste do modelo quadrático nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,15 m, onde apresentaram ponto de mínima em 92,71% e 109% da dose de calcário recomendada (Figura 4C). Dentre os fatores que caracterizam o solo, os minerais de óxidos de ferro

são considerados indicadores pedoambientais sensíveis, porque estão intrinsecamente relacionados com propriedades influenciadas pelo ambiente e manejo como temperatura, umidade, teor de matéria orgânica, pH, entre outros (SILVA NETO et al., 2008).

Em relação ao efeito da calagem, os principais mecanismos sobre o elemento ferro são o consumo dos H^+ necessários para a redução dos óxidos de ferro, tendo como consequência a diminuição da quantidade de ferro liberada, e o aumento das quantidades de Ca e Mg na solução do solo (Silva & Ranno, 2005). Dessa forma, como observado na Figura 1A e Figura 2A, as profundidades de 0,00-0,05m e 0,10-0,15m apresentaram maior pH, podendo justificar a redução da concentração de ferro no solo nessas profundidades, principalmente na camada de 0,00-0,05m (Figura 3B).

No Experimento 1, para o elemento zinco as doses 0, 150 e 200% da dose recomendada de calcário apresentaram maiores médias para a profundidade de 0,00-0,05 m diferindo das demais (Figura 3C). Já as doses de 30 e 50% da dose recomendada de calcário apresentaram maiores médias para as profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m não diferindo estatisticamente entre si (Figura 3C). Para as porcentagens de dose de calcário, no Experimento 1, houve ajuste do modelo quadrático, onde para profundidade 0,00-0,05m houve decréscimo de zinco até a dose de 94,75% da dose recomendada e a partir dessa dose houve acréscimo até o dobro da dose recomendada (Figura 3C).

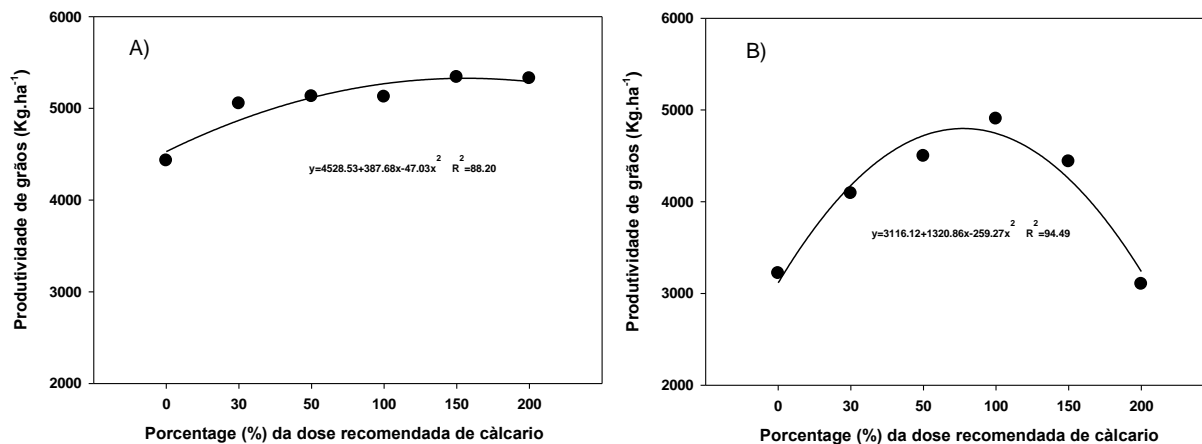
No Experimento 2, a profundidade de 0,00-0,05m apresentou maior teor de Zn diferindo das demais nas doses de 0, 50 e 100% da dose recomendada de calcário (Figura 4D). Já nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m, as doses, 0, 150 e 200% apresentaram maiores teores de Zn não diferindo entre si. No Experimento 2, para doses em relação ao teor de Zn, houve ajuste do modelo quadrático decrescente para todas as profundidades (Figura 4D). Ao considerar as profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,15m onde foram observados ponto de mínima em 120,5 e 95% da dose recomendada de calcário, respectivamente, a partir desses pontos houve aumento no teor de Zn, diferindo dos resultados da Experimento 1 (Figura 3C).

Para manganês, no Experimento 1 houve diferença entre as profundidades apenas para dose 100, onde a profundidade de 0,10-0,15m apresentou maior média diferindo das demais (Figura 3D). Em relação às doses o ajuste de modelo de regressão esteve baixo. Já no Experimento 2, a profundidade de 0,10-0,15m apresentou maiores teores de Mn, diferindo das demais nas doses 50 e 100 % da dose recomendada (Figura 4E). Nas demais doses essa profundidade não diferiu da de 0,05-0,10m.

Em relação às doses, no Experimento 2, houve ajuste do modelo quadrático para as profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10m, onde apresentaram pontos de máxima de 130% e 142,5% da dose recomendada, respectivamente, a partir desses pontos houve decréscimo no teor de Mn. Já para profundidade de 0,10-0,15m houve ajuste do modelo quadrático decrescente, onde conforme se aumentou a dose de calcário diminui o teor de Mn (Figura 4E). Devido ao aumento do pH nas camadas superficiais do solo pode alterar a disponibilidade de nutrientes, reduzindo a absorção de cobre, zinco e manganês, por isso a dose a ser aplicada de calcário sem incorporação deve ser analisada criteriosamente (Caires & Fonseca et al., 2000).

Analisando a produtividade de grãos da cultura da soja, observou-se comportamento quadrático em relação às porcentagens da dose recomendada de calcário nos dois experimentos (Figura 5). No entanto, no Experimento 2 a produtividade de grãos da cultura da soja, o modelo quadrático atingiu ponto máximo de produtividade em 98,31% da dose recomendada de calcário (Figura 5B). De acordo com o presente estudo, esse ponto constitui um ponto de inflexão na curva de produtividade da soja, a partir do qual não faz sentido agrônomico aumentar as doses acima desse valor.

Figura 5. Equações de regressão obtidas para a produtividade da cultura da soja avaliada em diferentes porcentagens da dose recomendada de calcário em dois experimentos [Experimento 1, janeiro de 2019 (A) e Experimento 2, fevereiro de 2020 (B)]



Fonte: Autores.

O comportamento observado no Experimento 1, também foi observado por Rodrighero et al. (2015). Este resultado pode ser explicado pelo fato dessas doses terem apresentado os melhores teores de nutrientes, como observado nos resultados citados anteriormente, melhorando a qualidade química do solo influenciando no aumento da produtividade de grãos da soja. No caso da Experimento 2, na dose recomendada, as altas produtividades podem estar relacionada ao residual de calagem e adubações realizadas anteriormente na área do experimento.

4. Considerações Finais

Houve movimentação e melhor eficiência do calcário no perfil do solo a partir da aplicação da dose recomendada. Os resultados apresentaram que conforme aumentou o tempo de reação do calcário aumentou-se os teores de nutrientes, mostrando efeito residual.

A produtividade de grãos da soja apresentou ganhos conforme se aumentou as porcentagens da dose recomendada de calcário durante a primeira safra. Na segunda safra apresentou ganhos até 98,31% da dose recomendada de calcário.

Podemos observar que o tempo do presente trabalho, um ano, não foi o suficiente para observar o efeito residual do calcário, seria necessária a continuação do trabalho para resultados mais efetivos.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, CPCS-UFMS.

Referências

- Alcarde, J. A., & Rodella, A. A. (2003). Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N. et al. eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. 291-334.
- Alovisi, A. M. T., Aguiar, G. C. R., Alovisi, A. A., Gomes, C. F., Tokura, L. K., Lourente, E. R. P., & da Silva, R. S. (2018). Efeito residual da aplicação de silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e na produtividade da cana-soca. *Agrarian*, 11(40), 150-158.
- Besen, M. R., & Batista, M. A. (2017). Variáveis da acidez do solo e produtividade de trigo e soja após aplicação de calcário. Encontro internacional de produção científica. *Unicesumar* – Centro Universitário de Maringá.
- Borges, W. L. B., Souza, I. M. D., Sá, M. E., & Alves, M. C. (2016). Alterações físicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 11(3), 149-155.
- Borgmann, C. (2019). *Movimentação de Nutrientes em Latossolo Argiloso sob Sistema Plantio Direto*. Dissertação. <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4547>.

- Caires, E. F. (2013). Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. *Informações Agronômicas*, 141(1), 1-13.
- Caires, E. F., Kusman, M. T., Barth, G., Garbui, F. J., & Padilha, J. M. (2004). Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, (28), 125-136.
- Caires, E. F., Fonseca, A. F., Mendes, J., Chueiri, W. A., & Madruga, E. F. (1999). Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, (23), 315-327.
- Caires, E. F., & Fonseca, A. F. (2000). Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, 59(2), 213-220.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos*, 9, safra 2021/22, n. 2 segundo levantamento, novembro.
- Costa, C. H. M. D., Crusciol, C. A. C., Ferrari, J., & Castro, G. S. A. (2016). Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1633-1642.
- CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. (2016). Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11ª ed. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul*. 376 p.
- Dias, L. P. R., Gatiboni, L. C., Brunetto, G., Simonete, M. A., & Bicaratto, B. (2015). Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. *Ciência Florestal*, 25(1), 37-48.
- Ernani, P. R., Nascimento, J. A. L., Campos, M. L., & Camillo, R. J. (2000). Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 24, 537-544.
- Furtini Neto, A. E. *Fertilidade do solo*. (2001). Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Furtini Neto, A. E., Tokura, A., & Resende, V. (2004). *Interpretação de análise de solo e manejo da adubação*. Ed. UFLA, 159p.
- Kaminski, J., Santos, D. R. D., Gatiboni, L. C., Brunetto, G., & Silva, L. S. D. (2005). Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(4), 573-580.
- Köppen, W., & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 cm x 200 cm.
- Lopes, A. S. (2017). *Manual internacional de fertilidade do solo*. Piracicaba, SP: Potafos, 177 p. Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. (3a ed.), Embrapa.
- Melo, D., Pereira, J. O., Nóbrega, L. H. P., & Cristina, M. (2007). Características físicas e estruturais de um latossolo vermelho sob sistema de plantio direto e cultivo mínimo após quatro e oito anos de plantio direto. *Engenharia Agrícola*, 15(3), 228-237.
- Olivera, E. L., Parra, M. S., & Costa, A. (1997). Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21(1), 65-70.
- Prado, R. M. A. (2003). Calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. *Revista Biociência*, 9(3), 7-16.
- Raij, B. V., & Quaggio, J. A. (2001). Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais: Determinação de Alumínio, Cálcio e Magnésio trocáveis em extrato de cloreto de potássio. *Instituto Agronômico de Campinas*. SP. p. 213.
- Rodrighero, M. B., Barth, G., & Caires, E. F. (2015). Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 1723-1736. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150036>.
- Sá, J. C. M. (1995). Calagem em solos sob plantio direto da Região dos Campos Gerais, Centro Sul do Paraná. In: Sá, J. C. M., coord. Curso sobre o manejo do solo no sistema de plantio direto. Castro, *Fundação ABC*, p.73-107.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa.
- Silva Neto, L. D. F. D., Inda, A. V., Bayer, C., Dick, D. P., & Tonin, A. T. (2008). Óxidos de ferro em Latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(5), 1873-1881.
- Silva, L. S. D., & Ranno, S. K. (2004). Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. *Ciência Rural*, 35(5), 1054-1061, 2005.
- Sousa, D. M. G., & Lobato, E. (2004). Cerrado: correção do solo e adubação. (2a ed.), *Embrapa Informação Tecnológica*, 416p.
- Sousa D. M. G. (2007). *Acidez do solo e sua correção*. In: Novais, R. et al. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 206-274.
- Villa, B., Secco, D., Tokura, L. K., Pilatti, M. A., Moreira, M. C. D. L., & Martins, M. F. L. (2017). Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grão de soja. *Acta Iguazu*, 6(2), 1-12.