

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

JÉSSICA FERREIRA DINIZ

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA SOJA E QUÍMICA DO SOLO
EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL E RESIDUAL DE
CALCÁRIO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

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

JÉSSICA FERREIRA DINIZ

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA SOJA E QUÍMICA DO SOLO
EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL E RESIDUAL DE
CALCÁRIO**

Orientador(a): Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Co-Orientador: Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Jéssica Ferreira Diniz

ORIENTADOR: Dr. Cassiano Garcia Roque

TÍTULO: Produtividade de grãos da soja e química do solo em função da aplicação superficial e residual de calcário

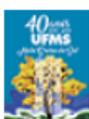
AVALIADORES:

Prof. Dr. Presidente Cassiano Garcia Roque

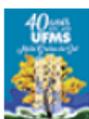
Profa. Dra. Karina Marie Kamimura

Prof. Dr. Leandro Argentele Martinez

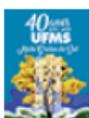
Chapadão do Sul, 10 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 10/12/2020, às 14:22, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karina Marie Kamimura, Professor do Magisterio Superior**, em 10/12/2020, às 14:24, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LEANDRIS ARGENTEL MARTÍNEZ, Usuário Externo**, em 10/12/2020, às 14:29, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao pH do solo (análise 1).....	15
Figura 2: Porcentagem da dose de calcário recomendada em relação aos teores de hidrogênio mais alumínio (H+Al) (análise 1).....	17
Figura 3: Porcentagem da dose de calcário recomendada em relação aos teores de hidrogênio mais alumínio (H+Al) (análise 2).....	18
Figura 4: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao teor de cálcio (Ca) no solo (análise 1).	19
Figura 5: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao teor de Ca no solo (análise 2).	20
Figura 6: Doses de calcário em relação ao teor de magnésio (Mg) no solo (análise 1)...	21
Figura 7: Doses de calcário em relação ao teor de magnésio (Mg) no solo (análise 2)...	22
Figura 8: Doses de calcário em relação ao teor de fósforo (P) no solo (análise 2).....	23
Figura 9: Doses de calcário em relação ao teor de fósforo (P) no solo (análise 2).....	24
Figura 10: Doses de calcário em relação ao teor de cobre (Cu) no solo (análise 1).	27
Figura 11: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao teor de cálcio (Ca) no solo (análise 2).	28
Figura 12: Doses de calcário em relação ao teor de ferro (Fe) no solo (análise 2).....	29
Figura 13: Porcentagens da dose de calcário recomendada em relação ao teor de zinco (Zn) no solo (análise 1).	31
Figura 14: Doses de calcário em relação ao teor de zinco (Zn) no solo (análise 2).	32
Figura 15: Doses de calcário em relação ao teor de manganês (Mn) no solo (análise 2).	33
Figura 16: Porcentagens da dose de calcário recomendada em relação a produtividade de grãos da soja (análise 1).	34
Figura 17: Porcentagens da dose de calcário recomendada em relação a produtividade de grãos da soja (análise 2).	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise química do solo anterior à instalação do experimento realizada na profundidade de 0,00-0,20 m.	12
Tabela 2. Análise de variância para pH, hidrogênio mais alumínio (H+Al) e macro nutrientes do solo sob diferentes porcentagens da dose recomendada de calcário e profundidades (análise 1).....	13
Tabela 3. Análise de variância para pH, hidrogênio mais alumínio (H+Al) e macronutrientes do solo sob diferentes porcentagens da dose recomendada de calcário e profundidades (análise 2).....	14
Tabela 4: Comparação de médias do pH em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).....	15
Tabela 5: Tabela de comparação de médias de pH em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 2).	15
Tabela 6: Comparação de médias de H+Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).	16
Tabela 7: Comparação de médias H+Al ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).	17
Tabela 8: Comparação de médias de cálcio ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).	19
Tabela 9: Comparação de médias para o Ca ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 2).	20
Tabela 10: Comparação de médias para o Mg ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).....	21
Tabela 11: Comparação de médias para o Mg ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).....	22
Tabela 12: Comparação de médias para P ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).....	23
Tabela 13: Comparação de médias para P ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).....	24
Tabela 14. Análise de variância para os micronutrientes do solo sob diferentes doses de calcário e profundidades (análise 1).....	25
Tabela 15: Tabela de análise de variância para micro nutrientes do solo sob diferentes doses de calcário e profundidades (análise 2).	25
Tabela 16: Tabela de comparação de médias para o cobre ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).	26
Tabela 17: Comparação de médias das profundidades para Cu ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagens da dose recomendada de calcário (análise 2).	27
Tabela 18: Tabela de comparação de médias para o Fe ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 1).	28

Tabela 19: Comparação de médias para o Fe (mg.dm^{-3}) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).	29
Tabela 20: Tabela de comparação de Zn (mg.dm^{-3}) em diferentes profundidades do solo em relação a porcentagens das doses recomendadas de calcário (análise 1).	30
Tabela 21: Tabela de comparação de médias para Zn (mg.dm^{-3}) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).	30
Tabela 22: Comparação de médias de Mn (mg.dm^{-3}) em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 1).	32
Tabela 23: Comparação de médias para Mn (mg.dm^{-3}) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).	32

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
MATERIAIS E MÉTODOS	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	35

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA SOJA E QUÍMICA DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL E RESIDUAL DE CALCÁRIO

RESUMO: A reação do calcário é limitada ao local de sua aplicação no solo, dessa forma há dúvidas sobre sua eficiência na redução da acidez em profundidade quando aplicado superficialmente sem incorporação. Sendo assim, objetivou-se através desse trabalho, analisar a movimentação e residual de diferentes doses de calcário no perfil do solo e sua influência na produtividade de grãos da soja. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. O calcário foi aplicado manualmente a lanço, sem incorporação. Um mês após realizou-se a semeadura da soja e na sua colheita estimou-se a produtividade de cada tratamento. Após a colheita foi realizada a amostragem do solo em três profundidades para análise química. No ano seguinte, foi realizado novamente a semeadura da soja e as mesmas avaliações. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando significativa, 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 de grãos teve incremento conforme se aumentou as porcentagens da dose recomendada de calcário na primeira safra, na safra seguinte apresentou melhor produtividade na dose recomendada.

Palavras-chave: *Glycine max*, residual, calagem, 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.

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. Essas práticas levam ao intenso uso do solo, causando sua degradação, e para que diminua esse problema tem-se buscado alternativas que melhore sua qualidade física e química, como por exemplo evitando deixa-lo sem proteção de restos culturais ou da própria planta (BORGES et al., 2016).

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 (DE 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 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, demonstrando que o carbonato de cálcio possui menor solubilidade em água em relação ao carbonato de magnésio (TEDESCO; GIANELLO, 2000; 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.

MATERIAIS 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, 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 ($0,964 \text{ kg por parcela}$), T3 = metade da dose recomendada ($1,607 \text{ kg por parcela}$), T4 = dose recomendada ($3,215 \text{ kg por parcela}$), T5= 150% da dose recomendada ($4,822 \text{ kg por parcela}$), T6 = dobro da dose recomendada ($6,430 \text{ kg por parcela}$). 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 anterior à instalação do experimento realizada na profundidade de 0,00-0,20 m.

pH	MO	P-	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	H+Al	SB*	CTC*	V*
	CaCl₂	Mehlich 1							
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----						%
4,6	21,2	21,6	0,18	2,3	0,6	5,9	3,08	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 -Mehlich 1-----				-----Textura (g dm ⁻³)-----			
12,6	0,26	0,5	58	11,3	1,8	500	50	450	
-----Interpretação**-----									
Médio	Baixo	Médio	Alto	Alto	Alto	-----	-----	-----	

*SB (soma das bases) (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺); CTC potencial (Capacidade de troca cátions a pH 7) (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + H + Al); V (saturação por bases) ((Ca²⁺ + Mg²⁺ K⁺)/CTC);** Sousa e Lobato (2004).

Em setembro de 2018 foi realizada calagem manualmente a lanço, utilizando o calcário dolomítico com PRNT 90%, composto por óxido de Cálcio (CaO) de 29% e óxido de Magnésio (MgO) 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 (análise 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 o 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 (análise 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 (unifactorial / factorial) e quando houverem diferenças entre os meios dos tratamentos comparativos, estes foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram determinados os indicadores estatísticos: coeficiente de variação, erros padrão da média dos tratamentos, coeficiente de determinação e erros tipo I e II.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira análise de solo, a interação entre os fatores profundidade e doses de calcário influenciaram o pH, teor de H+Al, e os macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P) (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para pH, hidrogênio mais alumínio (H+Al) e macro nutrientes do solo sob diferentes porcentagens da dose recomendada de calcário e profundidades (análise 1).

Fontes de variação	GL	pH	H+Al	Ca	Mg	K	P
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	-	-	-	-	-	-

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

Já na segunda análise de solo, a interação entre os fatores profundidade e doses de calcário influenciaram o teor de H+Al, e os macronutrientes Mg e P (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância para pH, hidrogênio mais alumínio (H+Al) e macronutrientes do

Fontes de variação	GL	pH	H+Al	Ca	Mg	P
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	-	-	-	-	-

solo sob diferentes porcentagens da dose recomendada de calcário e profundidades (análise 2).

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

A profundidade de 0,00-0,005 m, na análise 1, apresentou maiores médias de pH nas doses de 0, 30 e 50 % da dose recomendada de calcário, diferindo estatisticamente da demais. A profundidade de 0,10-0,15 m apresentou maiores médias de pH nas doses de 100, 150 e 200 %, diferindo estatisticamente da demais (Tabela 4).

Tabela 4: Comparação de médias do pH em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).

Profundidade (m)	Porcentagem da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	5,23 a	5,07 a	5,16 a	5,31 b	5,32 b	5,62 b
0,05-0,10	4,66 b	4,47 b	4,67 b	5,12 b	5,09 b	5,05 c
0,10-0,15	4,54 b	4,38 b	4,65 b	6,77 a	6,16 a	6,74 a

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

As doses de calcário em relação ao pH apresentaram comportamento linear, onde nas doses de 0, 30 e 50% da dose recomendada de calcário, a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou maior pH, diferindo estatisticamente das demais profundidades. Já nas doses 100, 150 e 200% da dose recomendada de calcário, na profundidade de 0,10-0,15 m observou-se maior pH do solo, diferindo estatisticamente das demais profundidades (Figura 1).

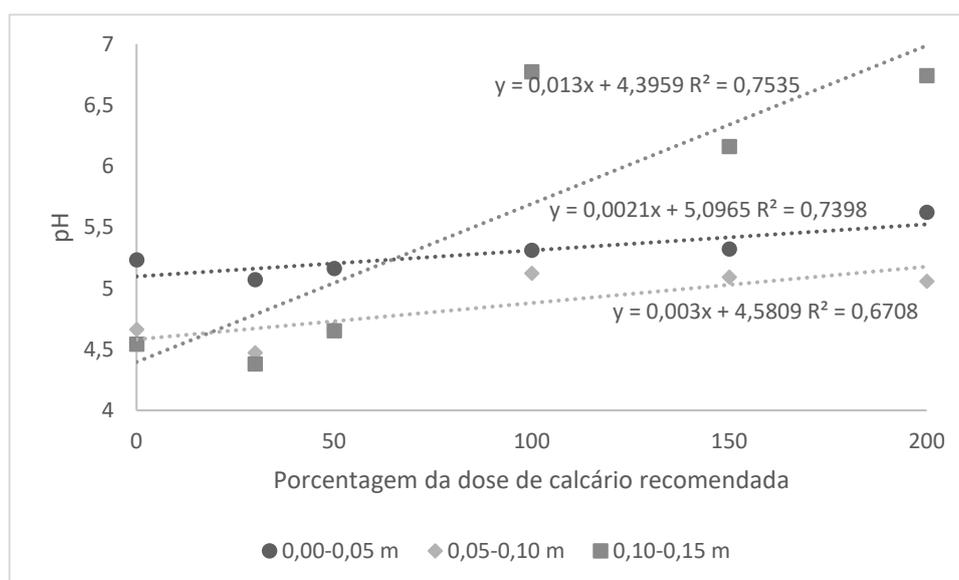


Figura 1: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao pH do solo (análise 1).

Na análise 2, a profundidade de 0,00-0,005 m apresentou maiores médias de pH diferindo das demais (Tabela 5), no entanto o fator dose não foi significativo.

Tabela 5: Tabela de comparação de médias de pH em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Média
0,00-0,05	5,59 a
0,05-0,10	4,76 b
0,10-0,15	4,13 c

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Como no presente trabalho não houve revolvimento do solo para incorporação do calcário, observamos que na análise 1 ocorreu movimentação do calcário no perfil do solo, conforme se aumentou a dose de calcário aplicada, tal comportamento também foi observado por Kaminski et al. (2005). Já na análise 2 observamos que a camada de 0,00-0,05 m apresentou maior valor de pH, diferindo das demais profundidades.

Os teores de H+Al, na análise 1 a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou as maiores médias em 30,50,100,150 e 200% da dose recomendada de calcário diferindo das demais. Já a profundidade de 0,05-0,010 m apresentou maior média na dose 0 de calcário (Tabela 6).

Tabela 6: Comparação de médias de H+Al ($\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).

Profundidade (m)	Porcentagem da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	10,62 b	11,33 a	11,50 a	9,19 a	8,64 a	8,87 a
0,05-0,10	12,32 a	7,10 b	8,53 b	5,61 b	6,33 b	6,90 b
0,10-0,15	4,99 c	5,61 c	5,70 c	5,01 b	4,68 c	4,95c

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

Em relação as doses, para os teores de hidrogênio mais alumínio, apresentaram comportamento linear decrescente a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou, onde maiores médias (Figura 2).

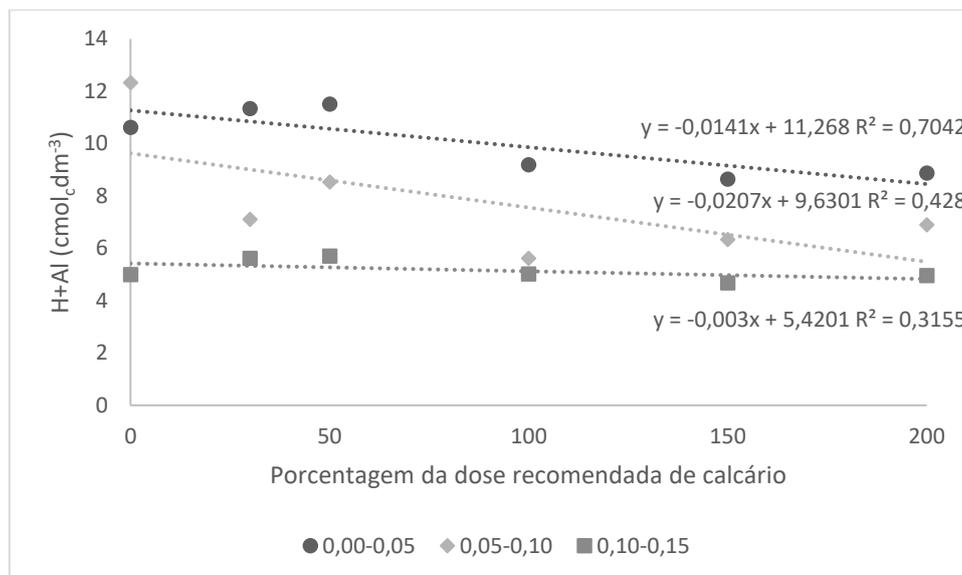


Figura 2: Porcentagem da dose de calcário recomendada em relação aos teores de hidrogênio mais alumínio (H+Al) (análise 1).

Na análise 2, observamos que a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou menores teores de H+Al (Tabela 7).

Tabela 7: Comparação de médias H+Al (cmol_cdm⁻³) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).

Porcentagens da dose recomendada de calcário						
Profundidade (m)	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	3,86 b	3,76 b	2,99 b	3,63 b	3,72 b	3,84 c
0,05-0,10	4,62 ab	5,78 a	5,23 a	5,61 a	5,94 a	6,66 a
0,10-0,15	4,95 a	6,16 a	5,61 a	5,61 a	5,89 a	5,50 b

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

Na análise 2 as porcentagens de dose de calcário recomendada, apresentaram comportamento linear crescente na profundidade de 0,05-0,10 m e nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,15 m 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 3).

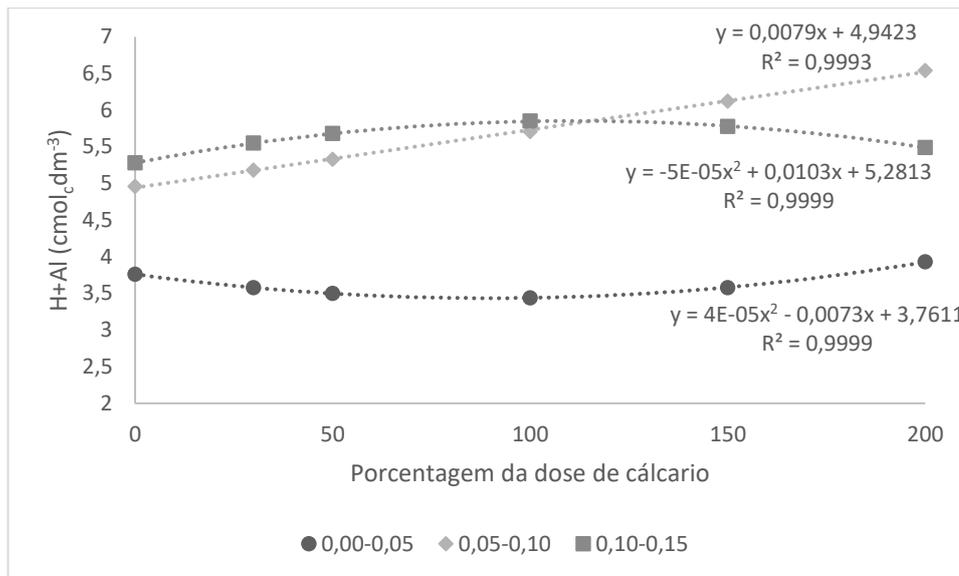


Figura 3: Porcentagem da dose de calcário recomendada em relação aos teores de hidrogênio mais alumínio (H+Al) (análise 2).

Comparando as 2 análises podemos observar que houve redução do teor de H+Al de uma análise para outra, também observado por Costa et al. (2016). Essa resposta indica que houve maior reação do calcário durante esse período de tempo, principalmente na camada de 0,00-0,05 m. E em relação as porcentagens das doses, na análise 1 apresentaram comportamento linear decrescente, na análise 2 a profundidade de 0,05-0,010 m apresentou comportamento linear crescente e nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,15 m houve ajuste do modelo quadrático.

O pH do solo é a concentração do íon H^+ na solução do solo. A aplicação de calcário ($CaCO_3$) reduz a acidez do solo pela conversão de uma parte desses íons H^+ em água. Os íons de cálcio (Ca^{2+}) se aderem ao colóide de solo nos sítios de troca, substituindo o Al^+ e os íons de carbonato (CO_3^{2-}) 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^+ nas camadas superficiais de (MOSCHLER et al., 1973; SÁ, 1995), tendendo a correção da acidez atingir às camadas subsuperficiais ao longo do tempo de cultivo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 1998; CAIRES et al., 1999).

A maioria dos nutrientes tem sua disponibilidade prejudicada em condições de pH baixo, em consequência da acidez do solo, por isso deve-se 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 análise 1, a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou maiores médias diferindo estatisticamente das demais profundidades (Tabela 8).

Tabela 8: Comparação de médias de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).

Porcentagens da dose recomendada de calcário						
Profundidade (m)	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	32,23 a	30,10 a	31,92 a	34,55 a	39,36a	42,35 a
0,05-0,10	18,59b	20,45 b	21,73 b	31,10a	28,02b	34,24b
0,10-0,15	17,18b	23,10c	15,10 c	20,88 b	20,01c	23,39c

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

O teor de cálcio nas amostras de solo apresentou comportamento linear crescente em resposta as doses de calcário.(Figura 4).

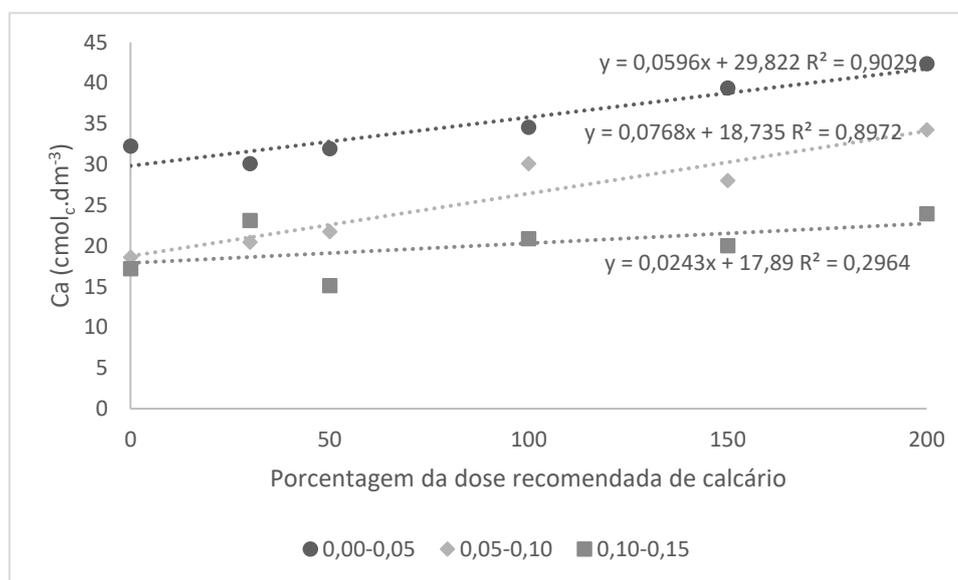


Figura 4: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao teor de cálcio (Ca) no solo (análise 1).

Na análise 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 (Tabela 9)

Tabela 9: Comparação de médias para o Ca ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Média ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)
0,00-0,05	69,45 a
0,05-0,10	53,38 b
0,10-0,15	38,12 c

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

Em relação as doses, houve ajuste do modelo quadrático, onde houve acréscimo do teor de cálcio até o ponto de máxima de 146,75% da dose de calcário recomendada (Figura 5).

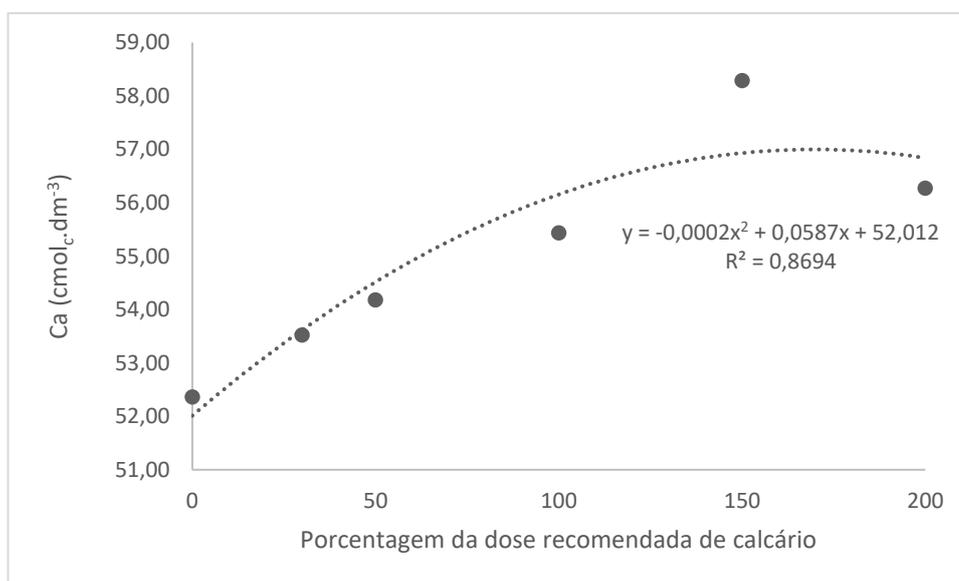


Figura 5: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao teor de Ca no solo (análise 2).

Em ambas análises houve maior teor de cálcio na camada de 0,05-0,10 m, 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 irão auxiliar 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 análise 2 maiores teores de Ca do que a análise 1.

O teor de magnésio no solo apresentou maiores médias na profundidade de 0,00-0,05 m diferindo das demais, porém na dose recomendada as profundidades de 0,00-0,05 e 0,10-0,15 apresentaram maiores médias não diferindo entre si (Tabela 10).

Tabela 10: Comparação de médias para o Mg ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).

Porcentagens da dose recomendada de calcário						
Profundidade (m)	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	10,65 a	12,26a	12,09a	10,66a	12,82a	13,53 ^a
0,05-0,10	4,85 b	5,14 b	7,22b	10,77a	8,09b	11,17b
0,10-0,15	2,55 c	2,29c	5,17c	6,21b	6,41c	7,42c

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

As doses de calcário apresentaram comportamento linear crescente (Figura 6).

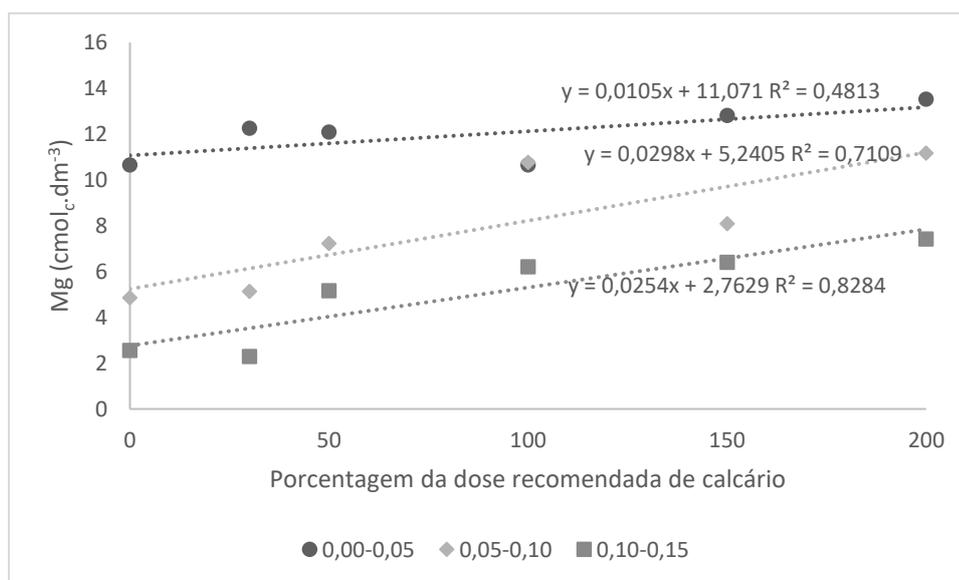


Figura 6: Doses de calcário em relação ao teor de magnésio (Mg) no solo (análise 1).

Na análise 2, também observamos que a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou maior teor de magnésio diferindo das demais (Tabela 11).

Tabela 11: Comparação de médias para o Mg ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	15,16 a	17,70 a	18,32 a	18,39 a	19,74 a	19,65 a
0,05-0,10	15,25 a	12,17 b	14,07 b	12,52 b	15,93 b	12,87 b
0,10-0,15	9,22 b	8,80 c	8,63 c	7,90 c	10,83 c	7,93 c

Médias seguidas por letras diferentes diferem na coluna entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

As doses de calcário apresentou comportamento quadrático em todas as profundidade onde apresentou ponto de máxima próximo a dose de 150% para profundidade de 0,05-0,010m e 100% para as outras. (Figura 7).

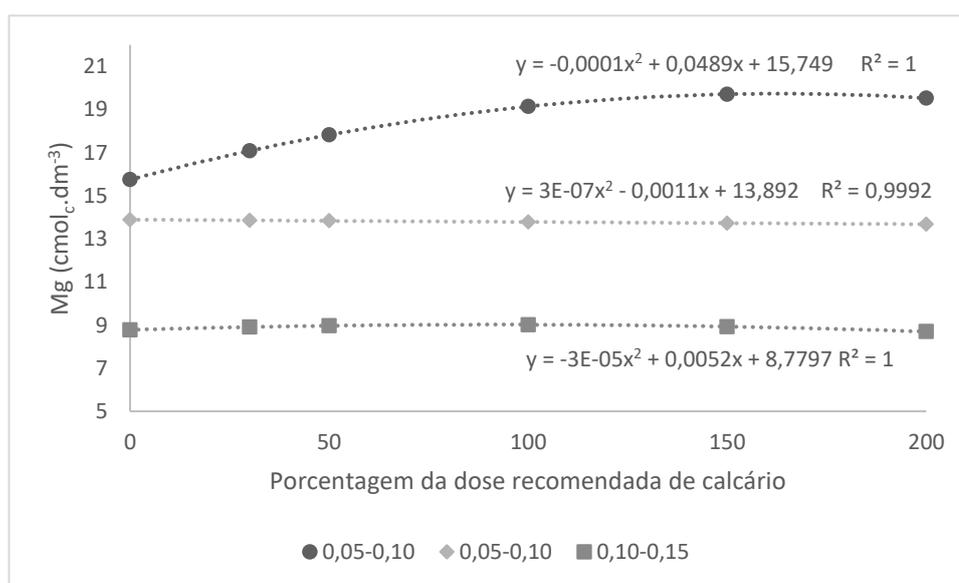


Figura 7: Doses de calcário em relação ao teor de magnésio (Mg) no solo (análise 2).

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.

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

Para os teores de fósforo, na análise 1 a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou maiores médias diferindo das demais (Tabela 12).

Tabela 12: Comparação de médias para P ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	71,81 a	62,76 a	78,57 a	75,89 a	80,10 a	58,02 a
0,05-0,10	35,60 b	47,63 b	42,37 b	46,95 b	54,92 b	31,78 b
0,10-0,15	19,98 c	27,69 c	47,59 b	45,67 b	33,91 c	20,67 c

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

Para as doses na análise 1, houve ajuste do modelo quadrático, onde apresentaram acréscimo no teor de fosforo 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 8).

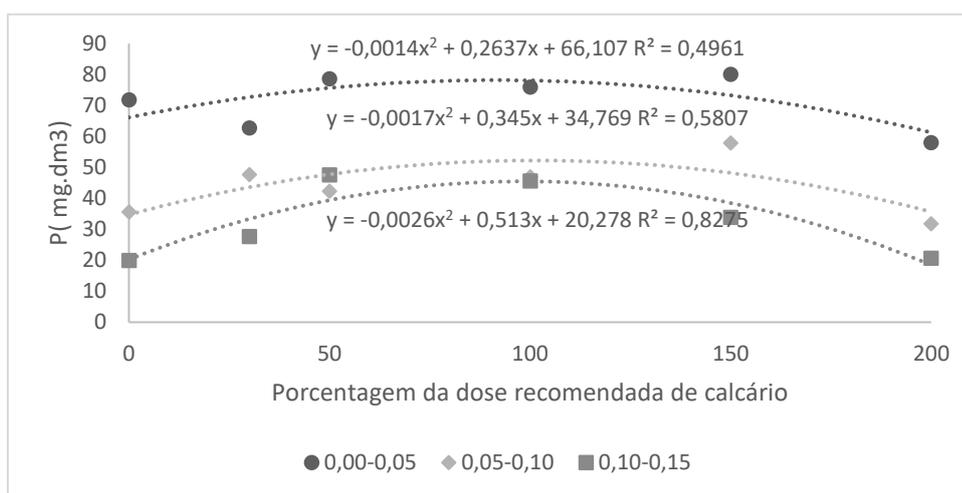


Figura 8: Doses de calcário em relação ao teor de fósforo (P) no solo (análise 2).

Na análise 2, o fósforo apresentou o mesmo comportamento que a análise 1, onde a profundidade de 0,00-0,05 m apresentou maiores médias diferindo das demais (Tabela 13).

Tabela 13: Comparação de médias para P ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	64,42 a	74,19 a	55,66 a	96,89 a	75,95 a	105,81 a
0,05-0,10	24,84 b	44,43 b	32,90 b	60,59 b	38,88 b	31,82 b
0,10-0,15	24,96 b	35,77 c	18,76 c	32,93 c	30,82 c	23,42 c

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ($P > 0,05$).

Na análise 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 9).

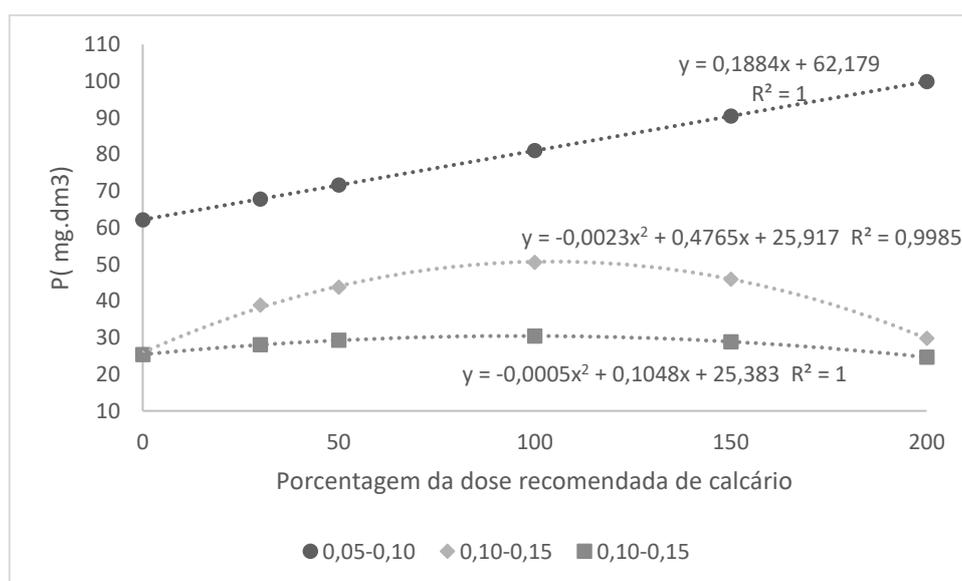


Figura 9: Doses de calcário em relação ao teor de fósforo (P) no solo (análise 2).

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 0,00-0,05 m.

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.

Na análise 1, o micronutriente ferro (Fe^{3+}) foi influenciado pelo fator profundidade. A interação entre profundidade e dose foi significativo para cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) (Tabela 14).

Tabela 14. Análise de variância para os micronutrientes do solo sob diferentes doses de calcário e profundidades (análise 1).

Fontes de variação	GL	Cu	Fe	Zn	Mn
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 PxD	10	12,34*	0,76 ^{ns}	5,47*	2,96*
Erro 2	45	-	-	-	-

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

Na análise 2, o elemento Cu foi influenciado pelo fator profundidade e dose separadamente, não houve interação entre os fatores. Já para Fe, Zn e Mn apresentaram interação significativa entre os fatores profundidade e dose (Tabela 15).

Tabela 15: Tabela de análise de variância para micro nutrientes do solo sob diferentes doses de calcário e profundidades (análise 2).

Fontes de variação	GL	Cu	Fe	Zn	Mn
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 PxD	10	1,01 ^{ns}	44,76 [*]	3,24 [*]	13,08 [*]
Erro 2	45	-	-	-	-

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

Para o elemento cobre, na análise 1, houve diferença entre as profundidades apenas em 30 e 50% da dose recomendada de calcário, onde a camada de 0,00-0,05 m apresentou as maiores médias (Tabela 16).

Tabela 16: Tabela de comparação de médias para o cobre ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) das profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 1).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	1,45 a	2,32 a	1,21 a	1,64 a	1,40 a	1,42 a
0,05-0,10	1,42 a	1,28 b	1,72 b	1,67 a	1,49 a	1,56 a
0,10-0,15	1,39 a	1,36 b	2,09 b	1,58 a	1,60 a	1,59 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em relação as 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 10). Besen et al.(2017) observou que conforme aumentou-se a dose de calcário diminuiu o teor de Cu.

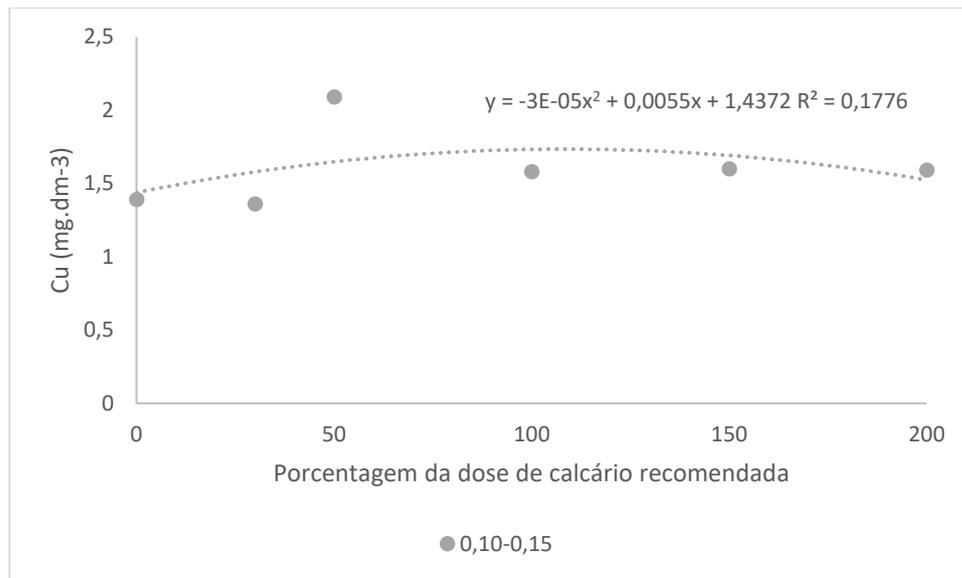


Figura 10: Doses de calcário em relação ao teor de cobre (Cu) no solo (análise 1).

Na análise 2, a profundidade 0,05-0,10 m apresentou maior média diferindo da profundidade de 0,00-0,05 (Tabela 17).

Tabela 17: Comparação de médias das profundidades para Cu (mg.dm⁻³) em diferentes profundidades em relação a porcentagens da dose recomendada de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Média (mg.dm ⁻³)
0,00-0,05	1,08 b
0,05-0,10	1,31 a
0,10-0,15	1,15 ab

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em relação as doses, houve ajuste do modelo quadrático onde apresentou ponto de máxima de 66,6 % da dose recomendada. Resultado semelhante a análise 1 (Figura 11).

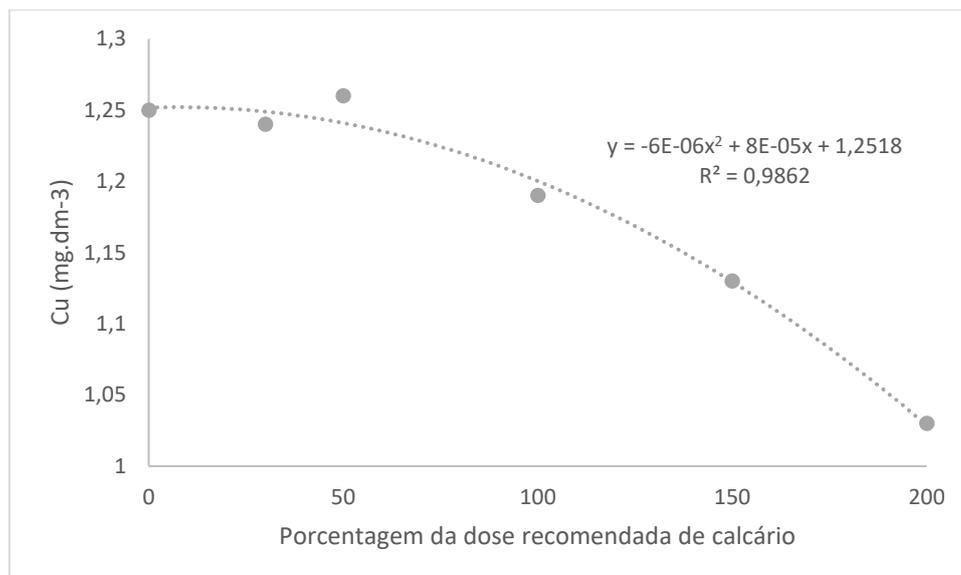


Figura 11: Porcentagens da dose recomendada de calcário em relação ao teor de cálcio (Ca) no solo (análise 2).

O elemento ferro, na análise 1, apresentou a maior média na profundidade de 0,05-0,10 m, diferindo das demais (Tabela 18).

Tabela 18: Tabela de comparação de médias para o Fe (mg.dm⁻³) em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 1).

Profundidade (m)	Média (mg.dm ⁻³)
0,00-0,05	39,30 c
0,05-0,10	63,84 a
0,10-0,15	58,62 b

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Na análise 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. E na profundidade de 0,10-0,15 m, as doses de 50 e 200% da dose recomendada apresentaram maiores teores diferindo das demais profundidades (Tabela 20).

Tabela 19: Comparação de médias para o Fe ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise2).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	30,56 b	37,26 b	27,64 b	26,27 b	28,80 b	29,93 b
0,05-0,10	124,40 a	96,52 a	28,75 b	91,25 a	94,98 a	27,20 b
0,10-0,15	39,83 b	38,02 b	41,72 a	33,14 b	35,68 b	44,17 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em relação as doses, houve ajuste do modelo linear decrescente na profundidade de 0,05-0,10 m. E 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 12).

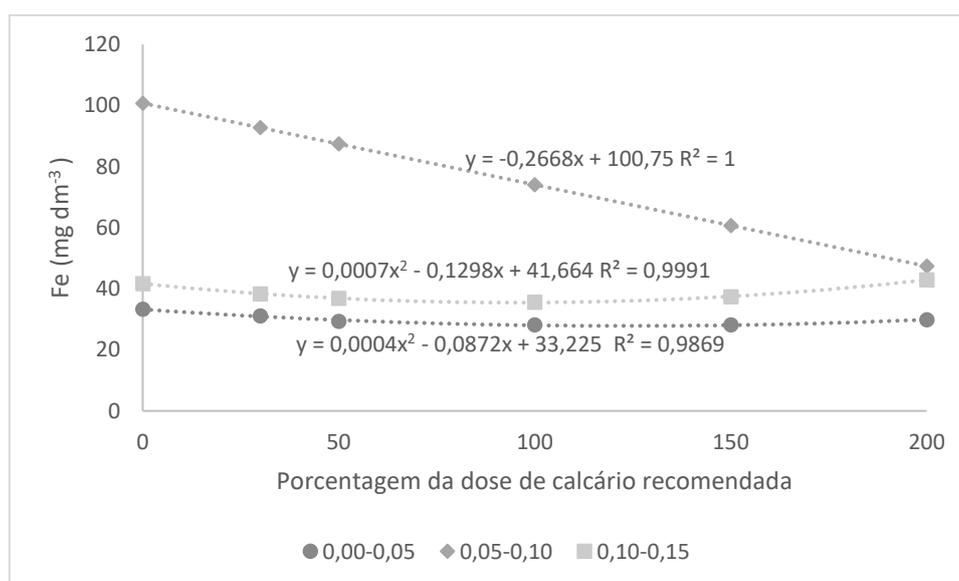


Figura 12: Doses de calcário em relação ao teor de ferro (Fe) no solo (análise 2).

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 1, as profundidades de 0,00-0,05 m e 0,10-0,15 m apresentaram maior pH, podendo justificar a redução da concentração de ferro no solo nessas profundidades, principalmente na camada de 0,00-0,05 m.

Na análise 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. Já as doses de 30 e 50% da dose da dose recomendada de calcário apresentaram maiores médias para as profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 20).

Tabela 20: Tabela de comparação de Zn (mg.dm⁻³) em diferentes profundidades do solo em relação a porcentagens das doses recomendadas de calcário (análise 1).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	10,98 a	10,33 a	9,03 a	9,25 a	9,94 a	11,28 a
0,05-0,10	7,96 b	10,01 a	8,40 a	9,16 a	7,13 b	8,59 b
0,10-0,15	6,32 c	5,65 b	6,86 b	7,87 a	6,49 b	6,36 c

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Na análise 2, a profundidade de 0,00-0,05 apresentou maior teor de Zn diferindo das demais nas doses de 0, 50 e 100% da dose recomendada de calcário. Já nas profundidade de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, as doses, 0, 150 e 200% apresentaram maiores teores de Zn não diferindo entre si (Tabela 21).

Tabela 21: Tabela de comparação de médias para Zn (mg.dm⁻³) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	8,16 a	5,40 a	7,95 a	7,68 a	6,05 a	7,14 a
0,05-0,10	6,79 b	6,46 a	5,60 b	5,63b	5,77 a	6,54 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Para as porcentagens de dose de calcário, na análise 1, houve ajuste do modelo quadrático, onde para profundidade 0,00-0,005 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. Para as profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 houve acréscimo até a dose de 25 e 114,5% da dose recomendada e a partir desses pontos houve decréscimo até o dobro da dose recomendada (Figura 13).

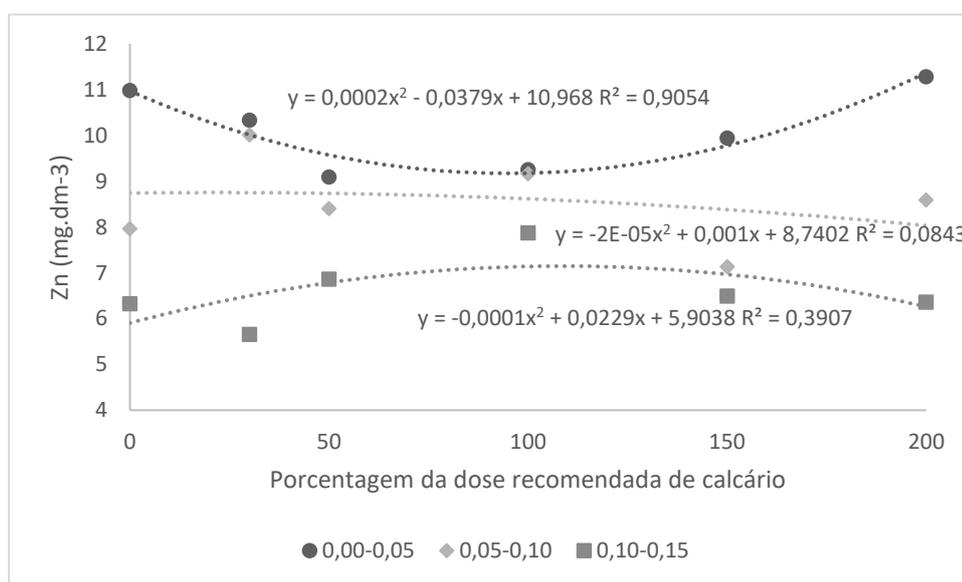


Figura 13: Porcentagens da dose de calcário recomendada em relação ao teor de zinco (Zn) no solo (análise 1).

Na análise 2, para doses em relação ao teor de Zn, houve ajuste do modelo linear decrescente para profundidade de 0,00-0,05. E para as profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m 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 análise 1 (Figura 14).

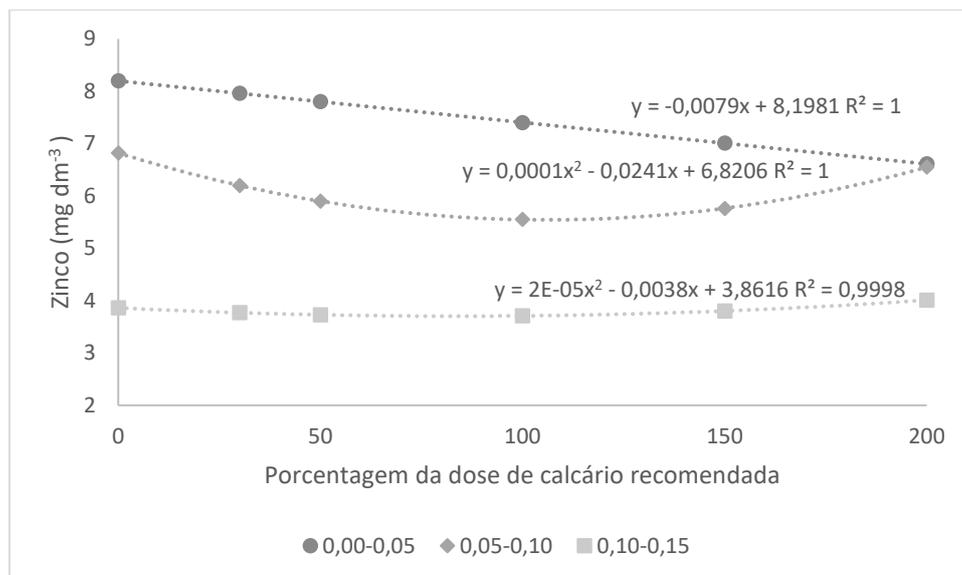


Figura 14: Doses de calcário em relação ao teor de zinco (Zn) no solo (análise 2).

Para manganês, na análise 1 houve diferença entre as profundidades apenas para dose 100, onde a profundidade de 0,10-0,15 apresentou maior média diferindo das demais (Tabela 22). Em relação as doses não houve ajuste de modelo de regressão.

Tabela 22: Comparação de médias de Mn ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades do solo em função da aplicação de calcário (análise 1).

Profundidade (m)	Porcentagens da dose recomendada de calcário					
	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	38,48 a	45,09 a	43,17 a	35,07 b	38,25 a	38,30 a
0,05-0,10	36,82 a	38,92 ab	40,67 ab	35,72 b	40,52 a	41,02 a
0,10-0,15	34,99 a	33,10 b	35,31 b	45,22 a	34,20 a	40,51 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Já na análise 2, a profundidade de 0,10-0,15 m apresentou maiores teores de Mn, diferindo das demais nas doses 50 e 100 % da dose recomendada. Nas demais doses essa profundidade não diferiu da de 0,05-0,10 m (Tabela 23).

Tabela 23: Comparação de médias para Mn ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) em diferentes profundidades em relação a porcentagem das doses de calcário (análise 2).

Porcentagens da dose recomendada de calcário						
Profundidade (m)	0	30	50	100	150	200
0,00-0,05	11,93 b	12,46 c	13,19 c	12,60 c	13,72 b	11,99 b
0,05-0,10	100,69 a	92,47 b	92,32 b	92,30 b	105,36 a	94,91 a
0,10-0,15	104,70 a	113,20 a	127,97 a	102,92 a	109,87 a	92,27 a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Em relação as doses, na análise 2, houve ajuste do modelo quadrático para as profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, 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 0,10-0,15 m houve ajuste do modelo linear decrescente, onde conforme se aumentou a dose de calcário diminui o teor de Mn (Figura 15).

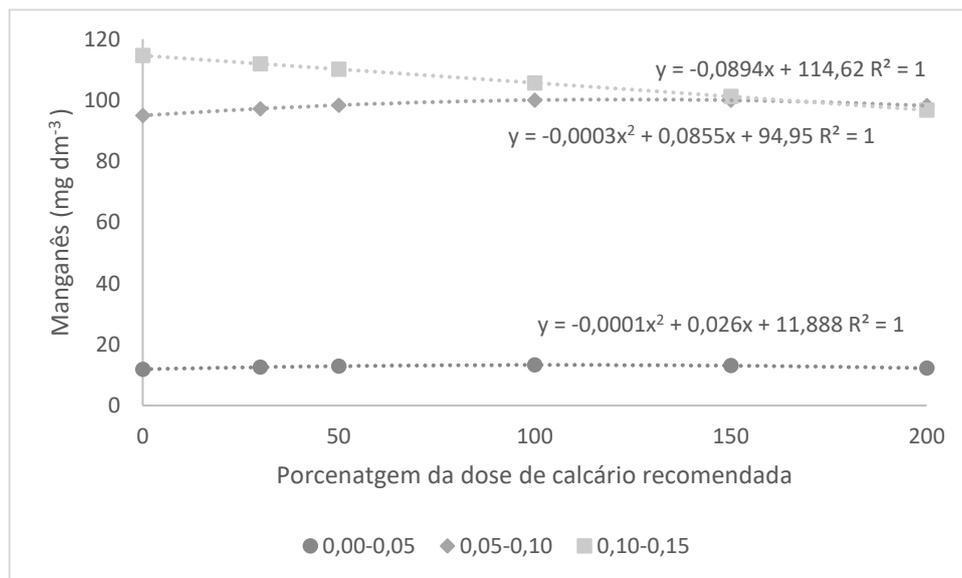


Figura 15: Doses de calcário em relação ao teor de manganês (Mn) no solo (análise 2).

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).

Em relação a produtividade de grãos da cultura da soja, observou-se comportamento linear crescente em relação as porcentagens da dose recomendada de calcário na análise 1 (Figura 16).

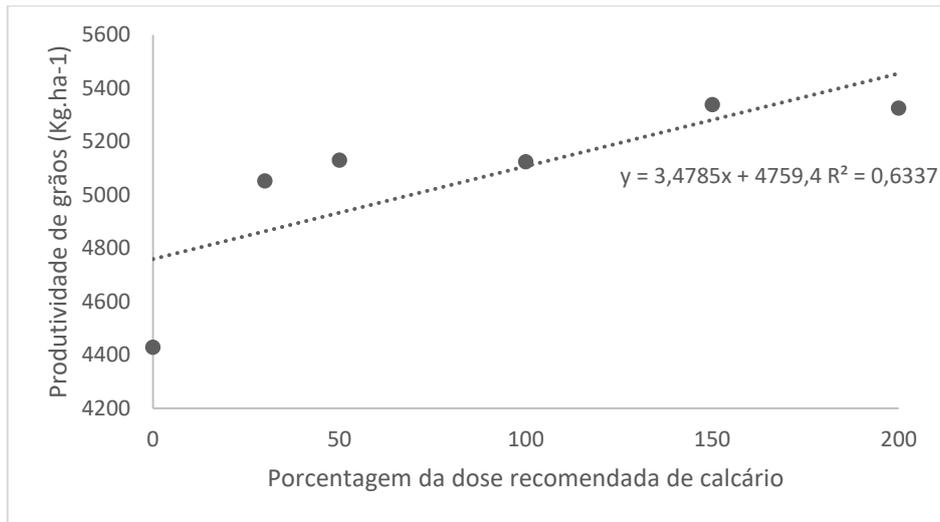


Figura 16: Porcentagens da dose de calcário recomendada em relação a produtividade de grãos da soja (análise 1).

No entanto, na análise 2 a produtividade de grãos da cultura da soja, houve ajuste do modelo quadrático, onde atingiu ponto máximo de produtividade em 98,31% da dose recomendada de calcário (Figura 17). 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 agrônômico aumentar as doses acima desse valor.

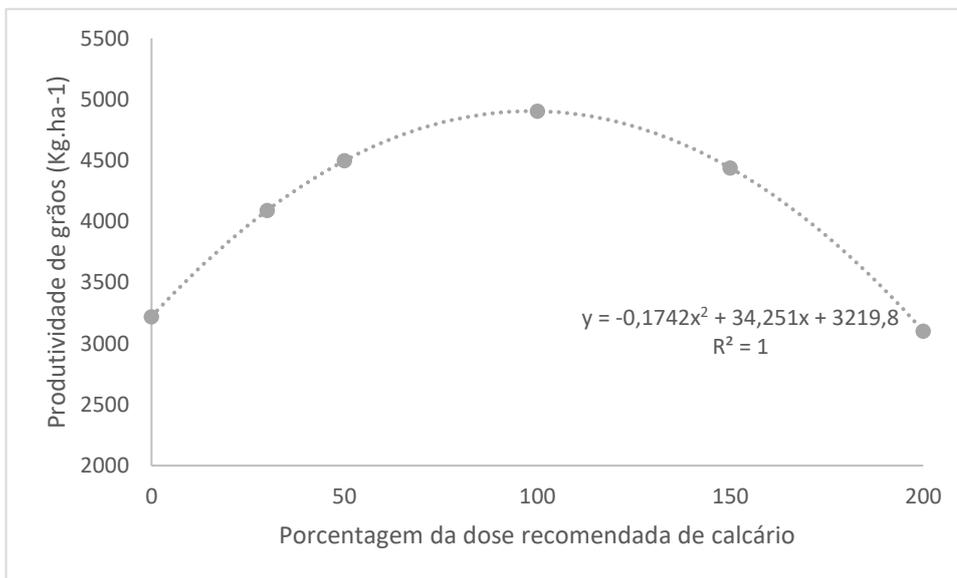


Figura 17: Porcentagens da dose de calcário recomendada em relação a produtividade de grãos da soja (análise 2).

O comportamento observado na análise 1, também foi observado por Rodrighero et al. (2015). Isso 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 análise 2 na dose recomendada. As altas produtividades podem estar relacionada ao residual de calagem e adubações realizadas anteriormente na área do experimento.

CONCLUSÃO

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 necessário a continuação do trabalho para resultados mais efetivos.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. **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. p.291-334. 2003.

ALOVISI, A. M. T. et al. Efeito residual da aplicação de silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e na produtividade da cana-soca. **Agrarian**, v. 11, n. 40, p. 150-158, 2018.

BORGES, W. L.B. et al. Alterações físicas em Latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE., v. 11, n.3, p.149-155,2016.

BORGMANN, C. Movimentação de Nutrientes em Latossolo Argiloso sob Sistema Plantio Direto. 2019. Dissertação. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4547>.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. *Informações Agronômicas*, v. 141, n. 1, p. 1-13, 2013.

CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p.:125-136, 2004.

CAIRES, E.F. et al. 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**, n. 23, p.:315-327, 1999.

CAIRES, E.F. et al. Alterações das características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo R. Bras. Ci. Solo**, n.22, p. :27-34, 1998.

COSTA, Claudio Hideo Martins da et al. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.

CQFS-RS/SC, Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11^a ed. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Núcleo Regional Sul. 376 p., 2016.

DIAS, L. P. R. et al. 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**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

DE VILLA, B. et al. Impacto do uso de espécies de cobertura na estrutura de um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grão de soja. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 2, p. 1-12, 2017.

ERNANI, P.R. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.24, p.537-544, 2000.

FURTINI NETO, A. E. et al. 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. et al.. **Interpretação de análise de solo e manejo da adubação**. Lavras. Ed. UFLA, 2004.159p.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba, SP: Potafos, 1998. 177 p.

MALAVOLTA, E. - **ABC da Adubação**. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo: (SP), 1979. 256 p

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

MELO, D. de et al.; 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**, Viçosa, MG, v.15, n.3, p. 228-237, jul./set., 2007.

MIYAZAWA, M. et al.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. *Inf. Agron.*, 92:1-8, 2000. (Encarte Técnico).

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, n. 1, p. 71-81, 2001.

MOSCHLER, W. W. et al. Comparative Lime Effects on Continuous No-Tillage and Conventionally Tilled Corn 1. **Agronomy Journal**, v. 65, n. 5, p. 781-783, 1973.

OLIVERA, E. L.; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 65-70, 1997.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v:25,p.:885-895, 2001.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista Biociência**, Taubaté, v.9, n.3, p.7-16, 2003.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais: Determinação de Alumínio, Cálcio e Magnésio trocáveis em extrato de cloreto de potássio*. Instituto Agrônomo de Campinas. SP. p. 213, 2001

SÁ, J.C.M. **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, 1995. p.73-107

SANTOS, H. G., et al.(2018). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA NETO, L. F. et al. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n. 5, p. 1873-1881, 2008.

SILVA, L. S. D.; RANNO, S. K. (2005). Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, n. 35, v.(5),p: 1054-1061, 2005.

SOUSA, D. M. G. de ; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, et al. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa 2007, pg. 206-274.

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