



**FLÁVIO ARAÚJO DE MORAES**

**DOSES DE CALCÁRIO NA CONSTRUÇÃO DA  
FERTILIDADE DO PERFIL DO SOLO**

**LAVRAS-MG  
2019**

**FLÁVIO ARAÚJO DE MORAES**

**DOSES DE CALCÁRIO NA CONSTRUÇÃO DA FERTILIDADE DO PERFIL DO  
SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Orientador

Prof. Dr. Bruno Montoani Silva  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

de Moraes, Flávio Araújo.

Dose de calcário na construção da fertilidade do perfil do solo /  
Flávio Araújo de Moraes. - 2019.

66 p.: il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Bruno Montoani Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Calagem. 2. Acidez do solo. 3. Culturas anuais. I. Moreira,  
Silvino Guimarães. II. Silva, Bruno Montoani. III. Título.

**FLÁVIO ARAÚJO DE MORAES**

**DOSES DE CALCÁRIO NA CONSTRUÇÃO DA FERTILIDADE DO PERFIL DO SOLO**

**APPLICATION OF LIMESTONE DOSES FOR THE CONSTRUCTION OF SOIL FERTILITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2019.

Dr. Amilton Ferreira da Silva      UFSJ

Dra. Maria Ligia de Souza Silva      UFLA

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Orientador

Prof. Dr. Bruno Montoani Silva  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2019**

*Ao meu pai, Miguel, à minha mãe,  
Maria, e aos meus irmãos Ivan e  
Ivanize, pelo carinho e incentivo,  
que possibilitaram essa conquista.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente em minha vida, me guiando a cada passo.

Ao Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira, pela amizade, confiança, orientação, paciência e toda a ajuda, sem a qual não seria possível terminar este trabalho.

À Júlia, por todo apoio, carinho, paciência e ajuda na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Bruno Montoani, pela orientação e conselhos.

Ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de estudos essencial à condução deste trabalho.

À AMPAR, pelo apoio financeiro, que foi fundamental para a execução do trabalho.

A todo grupo G-MAP, em especial ao Júnior, Fabinho, Alessandro, Hugo, Matheus (Balão), Júlia e Vanessa, pelos bons momentos, troca de conhecimento e todo apoio na condução deste trabalho.

Ao setor de grandes culturas, em especial ao Antônio, Edésio, Ezequiel e Manguin, por toda a ajuda.

À equipe do laboratório de física do solo, Téo e Dulci, que foram fundamentais para a realização das análises físicas, e ao Thiago, pela ajuda nas análises de agregados.

Ao Laboratório 3RLAB, pela parceria na execução das análises.

Ao Francisco Hélcio, pela colaboração nas análises de calcário.

Ao Evandro Ferreira e Luiz Otávio, pela disponibilidade das áreas para a realização dos experimentos.

A toda a equipe da Fazenda G7, em especial ao Dico, pelo apoio na instalação do experimento.

Ao Breno Araújo e à equipe Rehagro, pelo apoio no experimento.

Ao Devison, pela ajuda nas análises de PCA.

Aos meus amigos Celso, Daniel, Juliano, Alessandro, Pierry, Vinícius, Devison, Júnior, Hugo, Fabinho, Butt, Fiuza, Jopa, Larissa, Balão, Luziane e Lucas, pelos excelentes momentos compartilhados, mesmo que à distância em alguns casos.

A toda a minha família, pelo apoio.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

A acidez do solo está relacionada à baixa disponibilidade de nutrientes, sendo um dos fatores mais limitantes à produtividade das culturas. A calagem é uma das práticas mais eficientes para eliminar estas limitações. Desta forma, objetivou-se avaliar a eficiência da calagem na correção da acidez do solo e disponibilização de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em profundidade, além do seu efeito nos atributos físicos do solo e na produtividade de soja e feijão. O trabalho foi conduzido nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, localizadas na mesorregião do Campos das Vertentes, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em seis doses de calcário (0, 3, 6, 9, 12 e 15  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), incorporadas a 0,4 m de profundidade. Paralelamente, outro experimento foi realizado em casa de vegetação, com incubação das mesmas doses de calcário nas amostras da camada de 0,0 a 0,4 m dos solos das áreas de campo, em vasos com capacidade de 2  $\text{dm}^3$ . No primeiro experimento foram avaliados a influência da calagem nos atributos químicos e físicos do solo, bem como nas concentrações de nutrientes nas folhas e na produtividade das culturas de soja (Fazendas Santa Helena e Muquém) e feijão (Fazenda Ingaí). No segundo experimento foi avaliada a influência da calagem nos atributos químicos do solo. Ao final, os dados coletados foram submetidos a análises estatísticas. De maneira geral, foi possível observar que a calagem aumentou os valores de pH e V% e os teores de Ca e Mg, reduzindo os teores de H+Al, em ambos os experimentos. No primeiro experimento, observou-se que não houve influência das doses de calcário nos atributos físicos do solo. Geralmente, as concentrações foliares de macro e micronutrientes ficaram dentro das faixas adequadas. As produtividades foram influenciadas de forma positiva, com as doses de calcário. Houve um incremento de 24, 21 e 18% nas produtividades das culturas de soja e feijão, nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, com as doses de 9,4, 15 e 7,5  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário, respectivamente.

**Palavras-chave:** Calagem. Acidez do solo. Culturas anuais.

## ABSTRACT

The acidity of the soil is related to the low availability of nutrients, being one of the most limiting factors to the productivity of the crops. Liming is one of the most effective practices to eliminate these limitations. The objective of this study was to evaluate the efficiency of liming in soil acidity correction and availability of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in depth, as well as its effect on soil physical attributes and soybeans and beans productivity. The work was carried out in the Santa Helena, Muquém and Ingaí farms, which are located in the Campos das Vertentes mesoregion, under a clayey Red-Yellow Latosol. The experimental design was a randomized block design with four blocks. The treatments consisted of six doses of limestone (0, 3, 6, 9, 12 and 15  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), incorporated at 0,4 m depth. In parallel, another experiment was carried out in a greenhouse, with incubation of the same limestone doses in the layer samples of 0.0 to 0.4 m of the soils of the field areas, in pots with a capacity of 2  $\text{dm}^3$ . In the first experiment, the influence of liming on the chemical and physical attributes of the soil, as well as nutrient concentrations in leaves and yields of soybean (Santa Helena and Muquém farms) and beans (Ingaí farm) were evaluated. In the second experiment, the influence of liming on soil chemical attributes was evaluated. At the end, the data collected were submitted to statistical analysis. In general, it was possible to observe that liming increased the pH and V% values and the Ca and Mg contents, reducing H + Al levels, in both experiments. In the first experiment, it was observed that there was no influence of the limestone doses on the physical attributes of the soil. Generally, macro and micronutrient leaf concentrations were within the appropriate range. Productivity was positively influenced by liming rates. There was an increase of 24, 21 and 18% in soybean and bean crop yields at the Santa Helena, Muquém and Ingaí farms, with the rates of 9.4, 15 and 7.5  $\text{Mg ha}^{-1}$  of limestone, respectively.

**Key words:** Liming. Acidity of soil. Annual crops.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Aspectos relevantes sobre a acidez do solo .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Eficiência dos métodos de recomendação de calagem.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Influência da calagem na disponibilidade de nutrientes no solo .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Influência da calagem nos atributos físicos do solo .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Experimento de casa de vegetação .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização da área experimental .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Delineamento experimental e condução dos experimentos no campo .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo e folha.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5</b>	<b>Coleta e preparo de amostras e determinação dos atributos físicos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6</b>	<b>Avaliação dos componentes de produção .....</b>	<b>28</b>
<b>3.7</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Curva de Incubação do solo.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Experimento de campo.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Efeito das doses de calcário nos atributos químicos do solo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Influência das doses de calcário nos atributos físicos do solo .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A calagem é uma das práticas mais comuns e efetivas para aumentar a produção agrícola em solos ácidos, pois além de elevar o pH e neutralizar o alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ), quando em níveis tóxicos, aumenta os teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e os valores de saturação por base do solo (V%) (BOTTEGA et al., 2012; FAGERIA., 2001a). A dose de calcário a ser utilizada deverá ser suficiente para corrigir a acidez potencial ( $\text{H}^+ \text{Al}$ ), mantendo-se os valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) entre 6 a 6,5, além reduzir os valores de  $\text{Al}^{3+}$  tóxico. Também deve-se preconizar elevar os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  a valores adequados, que segundo Alvarez e Ribeiro (1999) são 2,4 a 4,0 e 0,9 a 1,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, para solos de Minas Gerais.

Em qualquer sistema de cultivo, a adequada correção da acidez do solo permitirá o melhor aproveitamento da maioria dos nutrientes. Em valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) entre 6,0 e 6,5, há maior disponibilidade de macronutrientes e de alguns micronutrientes (SOUSA et al., 2007). Nesse intervalo, é maior a atividade de microrganismos, o que favorece a disponibilização dos nutrientes presentes na palhada e matéria orgânica (MO) (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Além de interferir sobre aspectos biológicos e químicos do solo, a prática da calagem a longo prazo, pode influenciar nas características físicas, atuando em dois mecanismos relevantes. O primeiro está relacionado ao efeito direto do calcário, que modifica a composição química da solução do solo com aumento nos valores de pH, e nos teores de cátions e ânions. Esses interferem na floculação, dispersão e agregação do solo (SETA; KARATHANANASIS, 1996; ALBUQUERQUE et al., 2003). Por sua vez, o segundo mecanismo é indireto, devido ao aumento da produção de matéria seca das culturas em função da aplicação de calcário. Assim, durante o processo de decomposição do material vegetal, aumenta-se os teores de carbono no solo, proporcionando maior agregação (SORATTO; CRUSCIOL, 2008; CRUSCIOL et al., 2016).

Embora inúmeros estudos sobre calagem tenham sido realizados nas diversas regiões do Brasil, principalmente nos anos iniciais de abertura dos solos sob Cerrados, ainda há dúvidas relativas às doses a serem empregadas, principalmente quando se pensa na incorporação de calcário até 0,4 m de profundidade. Gonzalez-Erico et al. (1979) apresentaram um estudo em que a produtividade de milho em um solo sob cerrado sofreu

mais influência pela aplicação de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, incorporada a 0,3 m de profundidade do que na aplicação de 8 Mg ha<sup>-1</sup>, incorporada a 0,15 m.

Atualmente, tem sido incorporadas muitas áreas com alta acidez e com baixos teores de nutrientes aos sistemas de produção. Nelas, tem sido frequente a incorporação de calcário até 0,4 m de profundidade. Durante as recomendações de calagem, muitos técnicos de campo têm dobrado e/ou até triplicado as doses calculadas para a camada de 0,0 – 0,2 m, pelos métodos oficiais de recomendação. Essas decisões têm sido tomadas com base em observações práticas, necessitando-se de dados científicos para a sua validação, o que mostra a necessidade de novos estudos.

Por outro lado, em algumas situações com a aplicação das doses recomendadas pelos métodos oficiais, tem sido necessário novas aplicações de corretivos em intervalos de dois a três anos para que os solos argilosos ácidos atinjam os valores de V% e teores de Ca e Mg adequados (MOREIRA; MORAES, 2018). Isso sugere que as quantidades recomendadas pelos métodos oficiais, geralmente tem sido menor do que a necessária para completa correção da acidez.

Em condições de Cerrado, Fageria e Stone (2004) observaram a necessidade de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário para se obter a máxima produtividade de grãos, atingindo-se V% de 72 e 42 nas camadas de 0 a 0,1 e de 0,1 a 0,2 m, respectivamente. No entanto, a dose calculada pelo método da saturação por bases para elevar o V% a 70 era de apenas 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> (PRNT = 100%). Em um estudo anterior desenvolvido por Barbosa Filho e Silva (2000), em um Latossolo Vermelho com 380 g kg<sup>-1</sup> de argila e V% inicial de 29, a aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT = 100%) elevou a V% a 60 da camada de 0,0 a 0,2 m. Nesse caso, a dose calculada para se elevar a V% a 70 foi de 3,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Esses fatos evidenciam a necessidade de estudos de longo prazo com doses variáveis de calcário, visando a correção da acidez do solo.

Assim sendo, objetivou-se avaliar a eficiência da aplicação de doses crescentes de calcário na correção da acidez do solo e disponibilização de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> em profundidade, além do seu efeito nos atributos físicos do solo e na produtividade de culturas anuais, bem como a relação entre as doses aplicadas com as recomendadas pelo método da saturação por bases.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos relevantes sobre a acidez do solo

A utilização de calcário é um dos fatores mais importantes no manejo para altas produtividades, pois corrige a acidez do solo, que é a primeira prática da construção da fertilidade deste. A calagem aumenta os valores de pH e os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (FAGERIA, 2001a), elevando-se os valores de V%. Além disso, aumenta a disponibilidade de nutrientes como o P, neutralizando  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ , quando em níveis tóxicos. Com isso, cria-se condições para o melhor desenvolvimento das raízes.

A acidez do solo influencia as características físicas, químicas e biológicas dos solos, tornando-se uma das principais barreiras para aumento das produtividades da maioria das culturas (FOLONI et al., 2008). Esse fato é de grande importância, principalmente no caso dos solos sob cerrado, que além de serem naturalmente ácidos, apresentam baixos teores de cátions básicos (FAGERIA, 2001a; FAGERIA, 2001b). Solos com características ácidas são extremamente limitantes ao cultivo, podendo reduzir até 40% da produtividade das culturas. Desta forma, é fundamental compreender os processos de acidificação dos solos e saber quais os critérios devem ser utilizados para que a correção seja eficiente (QUAGGIO, 2000).

De acordo com Sousa et al. (2007), vários fatores podem gerar a acidez, tais como: material de origem, clima, agentes de intemperismo, organismos e a exploração agrícola. Esta última promove a exportação de nutrientes, que na maioria das vezes não são repostos de maneira correta.

Os principais cátions que são responsáveis pela acidez do solo são  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ , que prevalecem quando ocorre a alta exportação de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , pelos cultivos sucessivos, sem a correta correção e reposição dos mesmos, bem como pela lixiviação e erosão dos solos, principalmente em áreas de pastagens degradadas (LEPSCH, 2010).

A utilização de fertilizantes nitrogenados, tais como ureia e nitrato de amônio e as reações dos ácidos carboxílicos, grupos fenólicos e alcoólicos presentes na matéria orgânica possuem papel importante na acidificação dos solos. Com a conversão de compostos orgânicos em inorgânicos ocorre a liberação de N e S, que ao sofrerem oxidação liberam  $\text{H}^+$ , bem como a reação do  $\text{CO}_2$ , proveniente de compostos orgânicos, com a água que libera prótons, acidificando o solo (SOUSA et al., 2007).

Sendo assim, é possível representar a acidez do solo de duas formas, acidez ativa e acidez potencial, a acidez potencial pode ser subdividida em acidez trocável e acidez não trocável (QUAGGIO; RAIJ, 2001; SOUSA et al., 2007). A acidez ativa é representada pelos íons  $H^+$  que estão presentes na solução do solo livres ou dissociados e de acordo com Sousa et al. (2007), pode ser determinada por métodos potenciométricos.

A acidez trocável é constituída basicamente por  $Al^{3+}$  que está adsorvido aos colóides do solo, podendo haver pequenas quantidades de  $H^+$  trocáveis, ligadas à M.O. em alguns. Por sua vez, a acidez não trocável tem como principal componente o H, com ligação covalente aos colóides do solo. Diante disso, a acidez potencial pode assumir diversos valores, sendo eles dependentes, principalmente, do material de origem e M.O.

Os fatores que compõem a acidez potencial caracterizam o poder tampão do solo (RAIJ, 2011b). Normalmente, solos com altos teores de M.O. apresentam alta acidez potencial, devido ao H associado aos componentes das substâncias húmicas (grupos carboxílicos e fenólicos), os quais podem desprotonar e gerar  $H^+$  na solução do solo. Por sua vez, os solos argilosos e ácidos apresentam maior acidez potencial do que os arenosos, devido tanto ao  $H^+$  ligado aos colóides, como também pelo  $Al^{3+}$  trocável. Assim, solos com alta acidez potencial apresentam alto poder tampão (SOUSA et al., 2007; RAIJ, 2011b).

O poder tampão é a dificuldade do solo em variar seu pH quando ocorre a adição de bases, através da aplicação de compostos alcalinizantes, como os calcários e/ou acidificantes, gerados pelos fertilizantes nitrogenados. O poder tampão de um solo possui grande relevância no momento do cálculo da necessidade de calagem (SOUSA et al., 2007; MOREIRA; MORAES, 2018).

Para determinação da necessidade de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o poder tampão dos solos é considerado diretamente, por incluir o  $H+Al$  (CQFS-RS/SC, 2004). Por sua vez, as metodologias mais utilizadas no Brasil Central o consideram de forma indireta. E como já mencionado, solos ácidos argilosos e ricos em M.O. apresentam poder tampão elevado e, desta forma, necessitam de maior quantidade de calcário para serem corrigidos, comparados aos solos arenosos e com menores teores de M.O. (MOREIRA; MORAES, 2018).

O Método da Neutralização do Alumínio Tóxico e Elevação dos Teores de Ca e Mg ('Método de Minas'), considera o 'Y', que segundo Alvarez e Ribeiro (1999) é o fator do solo, ou seja, o poder tampão do solo, que varia de 1 a 4 em função do teor de argila. Por sua

vez o Método da Saturação por Bases (‘Método de São Paulo’) considera o poder tampão, ao incluir a ‘T’ na fórmula de cálculo da dose. Como se sabe, a T é obtida através da soma de bases com H+Al.

No entanto, mesmo considerando-se direta ou indiretamente o poder tampão, na prática, as doses de calcário calculadas por estes métodos geralmente não estão sendo suficientes para corrigir a acidez dos solos das áreas de abertura, com uma única aplicação. Parte disso, pode ser devido as dificuldades de se determinar o poder tampão dos solos ou mesmo da baixa qualidade de aplicação de corretivos e fertilizantes no Brasil (MOREIRA; MORAES, 2018).

Alguns autores relatam a dificuldade de se estimar a acidez potencial dos solos, principalmente para aqueles que apresentam maior poder tampão (KAMINSKI et al., 2002; KOSTENKO, 2015; LEBLANC et al., 2016; ZANCANARO et al., 2018). Acredita-se que, essa dificuldade está relacionada à compreensão da capacidade do solo de resistir à variação do pH, que está relacionada com a textura, mineralogia e ao teor de M.O. do solo.

A mineralogia do solo é um fator muito importante que pode interferir na recomendação de calcário, visto que está relacionada com alto poder tampão dos solos argilosos. Os latossolos são caracterizados como poligenéticos, pois possuem alto grau de intemperismo e baixa fertilidade (KER, 1997). Desta forma, de acordo com Rajj (1986), há nesses solos, o predomínio de minerais silicatados 1:1 (caulinita) e óxidos de ferro e de alumínio. Especula-se que a composição química desses minerais pode estar contribuindo para sua maior resistência à variação do pH, sendo necessário uma investigação detalhada dessas variáveis que influenciam na acidez do solo.

## **2.2 Eficiência dos métodos de recomendação de calagem**

Os métodos de recomendação de calagem visam fornecer doses de calcário suficientes para a correção da acidez potencial, dos teores de Al trocáveis, além de fornecer Ca e Mg em níveis adequados. As metodologias mais utilizadas para cálculo da necessidade de calagem no Brasil Central são: Método de Minas (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999) e o Método de São Paulo (RAIJ et al., 1997). De forma resumida, pode-se dizer que nos métodos são considerados desde aspectos químicos, como teores de cátions, as propriedades físicas, de forma indireta, como é o caso da textura.

O método de recomendação de calagem de Minas Gerais contempla no cálculo, as características do solo, bem como as exigências das culturas. Desta forma, considera-se nos cálculos, uma quantidade de calcário para neutralizar a acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), somada com a quantidade para elevar os teores de Ca e Mg tabelados e considerados adequados para cada uma das culturas (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999). Indiretamente, utiliza-se o poder de tamponamento dos solos, por considerar que solos mais argilosos apresentam maior necessidade de calcário do que os mais arenosos (valor "Y"). De acordo com Alvarez e Ribeiro (1999) a fórmula utilizada é:

$$\text{NC (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{Y} [\text{Al}^{3+} - (\text{m}_t \cdot \text{t}/100)] + [\text{X} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})] \quad (1)$$

onde:

NC = Necessidade de calcário;

Y = capacidade tampão da acidez do solo, definida de acordo com a textura do solo ou fósforo remanescente. No caso do teor de argila, a capacidade tampão varia através do valor Y, de 1 a 4, de um solo arenoso para um solo argiloso;

$\text{Al}^{3+}$  = acidez trocável, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;

mt = saturação máxima por  $\text{Al}^{3+}$  tolerada pela cultura, que varia de 20 % para as culturas de feijão e soja e 15% para o milho;

t = capacidade de troca catiônica efetiva, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;

X = teores de Ca e Mg trocáveis requerida por cultura, sendo  $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para as culturas anuais (feijão, milho e soja).

Segundo Moreira et al. (2018) uma das principais críticas à fórmula utilizada para o cálculo de calagem acima, é que a metodologia considera a exigência de apenas  $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca + Mg pelas culturas anuais (valor x da fórmula). O próprio boletim da CFSEMG de 1999 (ALVAREZ; RIBEIRO et al., 1999), apresenta como faixa de valores adequados para  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , os valores de 2,5 a 4,0 e 0,9 a 1,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Outra evidência relativa a esse fato é que nos estudos de Fageria e Stone (2004), os valores determinados como adequados  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para a cultura do feijão em solos sob cerrados foram de 4,0 e 1,2  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente.

Como na prática, não se tem sido obtido adequada correção do solo, com o método apresentado por Alvarez e Ribeiro, (1999), Moreira e Moraes (2018) propuseram a seguinte

mudança para o método de Minas Gerais, até que novos estudos e/ou metodologias sejam realizados com base científica:

- a) Desconsiderar que as culturas anuais toleram saturação por alumínio (m%) de 20 na camada de 0,0 a 0,2 m, uma vez que Al compromete o desenvolvimento do sistema radicular e aprofundamento das raízes. Atualmente, há recomendações de que o teor de Al trocável deverá ser zero até mesmo nas camadas mais profundas do solo. Assim, a fórmula de cálculo da necessidade de calcário do Método da neutralização da acidez e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis seria simplificada:

$$NC \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = Y \text{ (Al}^{3+}\text{)} + [\text{X} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]. \quad (2)$$

- b) Para solos argilosos do cerrado com CTC acima de  $7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , sugere-se considerar como 'X adequado', o valor de 5 (Ca e Mg = 4,0 e 1,0  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ );
- c) Para evitar super calagem, principalmente em solos com CTC abaixo de  $7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , sugere-se calcular o X, como sendo correspondente a 70% da T do solo. Em solos arenosos (argila <  $150 \text{ g kg}^{-1}$ ), deve-se fornecer um mínimo de 1,5 e 0,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e Mg, respectivamente (ZANCANARO et al., 2018). Para finalizar, Moreira e Moraes (2018), afirmam que as sugestões são apenas no sentido de se evitar as recomendações de doses muito empíricas de calcário, como tem sido feito na prática, simplesmente com a premissa de se dobrar as doses calculadas pelo método da V%. Mas, há necessidade de novos estudos regionalizados para definições de dose e/ou possíveis modificações nos métodos de recomendação.

Por sua vez, o Método da V% considera a quantidade de calcário necessária para se elevar a percentagem de V% a valores adequados para cada uma das culturas (RAIJ et al., 1997). O conceito de V% está relacionado ao fornecimento de bases (Ca, Mg, K) em níveis ótimos para o desenvolvimento de plantas, visando a produção máxima das culturas (FAGERIA, 2001b). Sendo assim, a fórmula utilizada por este método, segundo Raij et al. (1997), é apresentada a seguir:

$$NC = T (V_e - V_a) / PRNT$$

em que:

T = CTC a pH 7;

SB = Soma de bases, em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;

(3)

$V_a$  = Saturação por bases atual do solo;

$V_e$  = Saturação por bases desejada;

PRNT= O poder relativo de neutralização total do calcário, em %.

Outra forma de recomendar calagem é através do método SMP (SHOEMAKER et al., 1961), que é muito utilizado pelos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004). Para a utilização do método, deve-se determinar o pH das amostras de solo numa solução denominada SMP (*Shoemaker, Mac lean e Pratt*), que consiste em uma solução tamponada a pH 7,5, sendo o valor de pH conhecido como índice SMP (TOMÉ JÚNIOR, 1997). De acordo com a CQFS-RS/SC (2004), o índice é utilizado para recomendar a quantidade de calcário necessária para elevar o pH ( $H_2O$ ) do solo a valores de 5,5, 6,0 ou 6,5, dependendo da cultura e/ou sistema de cultivo. Quanto menor pH SMP determinado, maiores são os valores da acidez potencial do solo ( $H+Al$ ) e a dose de calcário para reduzir acidez e elevar os valores de pH ( $H_2O$ ) desejados. Como mencionado por Kaminski et al. (2002), é necessário realizar uma calibração para cada tipo de solo, relacionando-se  $H+Al$  com o pH SMP da amostra, procedimento feito através de uma curva de calibração. As doses a serem aplicadas são tabeladas, e para serem obtidas deve-se entrar na tabela com o pH SMP da amostra e o pH ( $H_2O$ ) desejado (TOMÉ JÚNIOR, 1997)

Independentemente do método de recomendação de calcário, na literatura já é possível encontrar alguns dados que apontam para maior necessidade de calcário em algumas áreas. Após quatro anos de cultivo, em um Latossolo Vermelho com  $330 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e  $V\%$  inicial de 31, Fageria (2001b) observou que, para atingir  $V\%$  de 56 e 66, foram necessários, respectivamente, 16 e  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (69,2% de PRNT, 31,5% de CaO e 11,6% de MgO), aplicados 30 dias antes da semeadura do arroz.

Também em condições de Cerrado, Fageria e Stone (2004) observaram em um Latossolo Vermelho com  $370 \text{ g kg}^{-1}$  de argila,  $V\%$  inicial de 36 e T de  $8,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , a necessidade de  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (88% de PRNT, 32% de CaO e 13% de MgO) para atingir a máxima produtividade de grãos. Atingiram-se valores de  $V\%$  de 72 e 41 nas camadas de 0,0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, respectivamente. Neste caso, a dose calculada para elevar a  $V\%$  a 70 havia sido de apenas  $3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Em estudo anterior, desenvolvido por Barbosa Filho e Silva (2000), num Latossolo Vermelho com  $380 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, T de  $7,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $V\%$  inicial de 29, os resultados também foram semelhantes. A aplicação de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (100% de PRNT) elevou o

V% a 60 na camada de 0,0 a 0,2 m e aumentou a produtividade do feijoeiro em 37%. Nesse estudo, a dose calculada pelo Método de Saturação por Bases para elevar a V% a 70, foi de apenas 3,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Como visto anteriormente, a recomendação de calagem pelos métodos disponíveis não tem apresentado resultados efetivos, indicando a necessidade de novos estudos.

### 2.3 Influência da calagem na disponibilidade de nutrientes no solo

Como já discutido, a calagem tem por objetivo corrigir a acidez do solo, neutralizar Al trocável e disponibilizar nutrientes como Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> para o sistema de cultivo. De acordo com Souza et al. (2007), ao reduzir os valores de acidez do solo, observa-se uma redução na solubilidade de Al<sup>3+</sup> e Mn<sup>2+</sup>, os quais em concentrações elevadas causam problemas de toxidez às culturas. Além deles, com a elevação do pH do solo, observa-se a redução da disponibilidade de Zn, Cu e Fe no solo, que é refletido nos teores foliares dos vegetais, como foi demonstrado por Caires et al. (2006).

Os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn são absorvidos pelas plantas predominantemente nas formas de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> Mn<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup>, respectivamente (ABREU et al., 2007). A disponibilidade de nutrientes para as plantas pode ser afetada por vários atributos do solo, tais como, teor de M.O., potencial redox, temperatura, umidade e atividade microrganismos, além da competição por sítios de adsorção, bem como pelo próprio sistema de cultivo (FAGERIA et al., 2002; MOREIRA et al., 2017). O Cu, por exemplo, pode ser fortemente complexado pela M.O. (ABREU et al., 2007; BASTA; TABATABAI, 1992; VITTI; TREVISAN, 2000), diminuindo sua disponibilidade, enquanto as formas de Mn e Fe são amplamente alteradas na solução em função das condições de oxirredução do solo (ABREU et al., 2007)

No caso dos sistemas de cultivo, deve ser destacado que ao realizar a calagem de forma correta e implantar de maneira efetiva o sistema de plantio direto (SPD), a quantidade de M.O. aumenta na camada superficial ao longo do tempo (THOMAS et al., 2007; SANTIAGO et al., 2008; AZIZ et al., 2013; MOTSCHENBACHER et al., 2014; VUKASINOVIC et al., 2015; MOREIRA et al., 2016), bem como aumentam-se os valores de pH, quando se faz aplicação de calcário em superfície ou incorporado (CAIRES et al., 2003; TEIXEIRA et al., 2003; CAIRES et al., 2005; SOUSA et al., 2007; FONSECA et al., 2010).

De modo geral, as deficiências de micronutrientes têm sido atribuídas ao aumento excessivo do pH na camada superficial (GUPTA et al., 2008), e no Brasil, muitos casos estão relacionados a aplicação de altas doses de calcário. No entanto, esta explicação pode não ser sempre correta, pois altos teores de Zn e Mn foram encontrados nas camadas superficiais de solos sob SPD, mesmo quando o pH e a M.O. estavam altos (TEIXEIRA et al., 2003; MOREIRA et al., 2006; MOREIRA et al., 2016). Soratto e Crusciol (2008) não observaram decréscimo na absorção de Mn, Fe e Zn por aveia preta cultivada em Latossolo Vermelho sob SPD, quando altas taxas de calcário foram utilizadas. Por outro lado, Caires et al. (2000) observaram decréscimos na absorção de Mn e Zn por plantas de soja cultivadas em Latossolo Vermelho sob SPD por 15 anos, quando altas taxas de calcário foram utilizadas. Também houve redução nas absorções de Mn e Zn pelas plantas de soja nos estudos de Caires et al. (2003). Nos trabalhos de Fonseca et al. (2010), a calagem causou uma diminuição na concentração de Mn nas folhas de trigo, mas as concentrações foliares de Cu, Fe e Zn não foram afetadas pela calagem.

É importante ressaltar, que os sintomas de deficiências de micronutrientes têm aparecido em condições de pH bastante elevados, o que pode ser evitado realizando-se a calagem com a dose adequada (MOREIRA et al., 2017; MOREIRA; MORAES, 2018). Tanaka et al. (1993) relatou a presença de sintomas de deficiências de Mn em soja, o que reduziu a produtividade em 58%, devido ao aumento da V% de 50 para 83, após 6 anos de estudos com aplicação de elevadas doses de calcário. Dentre os fatores que contribuem para tal efeito, está a má incorporação do calcário, juntamente com a utilização de doses elevadas sem validação científica (TANAKA; MASCARENHAS, 1992; MOREIRA; MORAES, 2018).

Alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de verificar a disponibilidade de micronutrientes em solos brasileiros (RODRIGUES et al., 2001; NASCIMENTO et al., 2006). Novaes et al. (1989) e Galvão (2002), demonstram a necessidade de melhorar a disponibilização de micronutrientes devido sua escassez natural em solos sob Cerrado. Por sua vez, na região Sul, normalmente não se obtém respostas das culturas à adubação com micronutrientes, devido aos teores encontrados nos solos (CQFS-RS/SC, 2004).

Há relatos no Brasil sobre deficiência de Mn quando os valores de pH em água ultrapassam 6,0, pois há a formação de complexos estáveis com a M.O. (BORKERT, 1991; QUAGGIO, 1991; SANZONOWICZ, 1995). De acordo com Fonseca et al. (2010), a

solubilidade de Cu é dependente do pH, segundo Fageria et al. (2002), para cada unidade de pH que se aumenta, reduz-se em cem vezes a disponibilidade de Cu. Os mesmos autores relatam que assim como o Mn, em pH acima de 6,0, o Cu reduz a sua disponibilidade, aumentando a adsorção à M.O. e aos materiais argilosos. Por sua vez, Pereira et al. (2007) relatam maior disponibilidade de Zn na ausência de aplicação de calcário. No entanto, novos estudos são necessários, pois na prática, os produtores vêm utilizando doses de calcário acima das preconizadas pelos métodos oficiais e não têm sido observadas deficiências de micronutrientes. Mas, como o aparecimento das deficiências está relacionado ao aumento do pH, pelas doses de calcário, com comportamento variável com o poder de tamponamento dos solos, as respostas serão variáveis em cada condição, exigindo novos estudos.

#### **2.4 Influência da calagem nos atributos físicos do solo**

Ao realizar a calagem, vários são os benefícios para o solo, pois além de corrigir a acidez e neutralizar o Al trocável, ela fornece Ca e Mg, que são macronutrientes fundamentais para o desenvolvimento vegetal. No entanto, estes benefícios citados podem alterar alguns atributos físicos do solo, pois estão ligados com a interação eletrostática das partículas dos colóides (ALBUQUERQUE et al., 2003; BIELDERS; GRYPONPREZ, 2010; DANTAS et al., 2012).

O balanço eletrostático está relacionado com as cargas dos íons presentes na solução do solo e na superfície dos colóides. Considerando-se a relação de atração e repulsão, forma-se uma camada, a qual, de acordo com o modelo de Gouy-Chapman e Stern, é denominada dupla camada difusa. Esta pode ser mensurada através da seguinte fórmula:  $1/K = (K'' / z^2n)^{1/2}$ , neste caso, K é uma constante, z é a valência dos contra-íons e n é a concentração eletrolítica na solução (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Diante do modelo citado, é possível inferir que a expansão da dupla camada leva a dispersão da argila, isso porque com a redução da concentração eletrolítica e da valência iônica, aumenta-se a repulsão. Caso ocorra o inverso, as partículas de argila se atraem e iniciam uma interação promovida pelas forças de *Van der Waals*, floculando-se (BRITO BURITI et al., 2017; AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Quando se realiza a calagem, sabe-se que há a alteração da dupla camada difusa. Isso porque neutraliza o  $Al^{3+}$ , que é o principal íon da dupla camada, garantindo-se a floculação,

através da formação de pontes catiônicas e compostos organometálicos (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004). Porém, quando se adiciona  $\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$  no solo, após sua solubilização, há a substituição do  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Essa substituição pode aumentar a argila dispersa em água, principalmente no caso de calcários ricos em  $\text{Mg}^{2+}$ , devido ao seu maior raio iônico hidratado e ao aumento da dupla camada difusa (SETA; KARATHANASIS, 1997; ALBUQUERQUE et al., 2003).

Por outro lado, a aplicação de calcário favorece o crescimento radicular, aumentando a produção de massa verde e a atividade biológica. Dessa forma, melhora-se a agregação do solo, que tem correlação direta com a infiltração de água no solo, a qual é beneficiada por agregados maiores e com densidade menor. Para a formação destes agregados, é necessário a união de partículas primárias, que se unem por uma força mecânica, dentre essas forças é possível destacar o desenvolvimento radicular, bem como a ação da gravidade e a contração e expansão do solo. Para concretizar a formação dos agregados são necessários agentes cimentantes, podendo ser eles a M.O.,  $\text{Ca}^{2+}$ , óxidos de Fe e Al (SILVA; KATO, 1997; OLIVEIRA, 2008; RHOTON; DUIKER, 2008).

Diante do exposto, surge o seguinte questionamento: a aplicação de doses elevadas de calcário pode causar efeitos negativos aos atributos físicos do solo, aumentando a suscetibilidade à erosão, ou o fato de melhorar o ambiente para o desenvolvimento das culturas pode superar possíveis problemas da dispersão da argila, devido a substituição do  $\text{Al}^{3+}$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Alguns autores como Albuquerque et al. (2003), Haynes e Naidu (1998), Roth e Pavan (1991) e Six et al. (2004), apresentam dados indicando efeito negativo para a prática de calagem em relação aos atributos físicos, causando redução da estabilidade de agregados, da floculação e da infiltração de água no solo, bem como o aumento da argila dispersa em água. No entanto, outros trabalhos mostram os benefícios obtidos pela aplicação de calcário em relação a melhoria dos atributos físicos do solo, contribuindo positivamente para maior estabilidade de agregados, bem como maior capacidade de armazenamento de água (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991; CHAN; HEENAN, 1998; SIX ET AL., 2004; BRIEDIS et al. 2012).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Experimento de casa de vegetação

Foi realizado um experimento de incubação com terra coletada na profundidade de 0,0 – 0,4 m, em áreas não cultivadas próximas as áreas experimentais. As características químicas das amostras antes da instalação do experimento podem ser visualizadas na Tabela 1. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As doses utilizadas foram de 0, 1,5, 3,0, 4,5, 6,0 e 7,5 g dm<sup>-3</sup> de calcário que correspondem às doses utilizadas no campo de 0, 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>, calculadas para 2 dm<sup>3</sup> de solo da camada de 0,0 – 0,4 m.

Tabela 1 - Propriedades químicas dos solos coletados na profundidade de 0,0 – 0,4 m ao lado das áreas experimentais, antes da incubação do solo.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	MO	V
(CaCl <sub>2</sub> )	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						g kg <sup>-1</sup>	%
<b>Fazenda Santa Helena</b>									
5,4	0,1	0,1	0,3	0,2	0,0	3,1	3,7	18	18
<b>Fazenda Muquém</b>									
5,5	0,6	0,1	4,1	1,4	0,0	2,3	7,9	20	71
<b>Fazenda Ingáí</b>									
5,0	0,3	0,1	1,0	0,3	0,0	4,0	5,5	18	29

Fonte: Do autor (2019).

As amostras ficaram incubadas durante o período de 90 dias, mantendo-se a capacidade de campo a 70%, através da pesagem diária de cada vaso. Após esse período de incubação, coletou-se as amostras de terra em cada vaso, para a determinação dos teores de Ca, Mg, H+Al e dos valores de pH (CaCl<sub>2</sub>), T e V%.

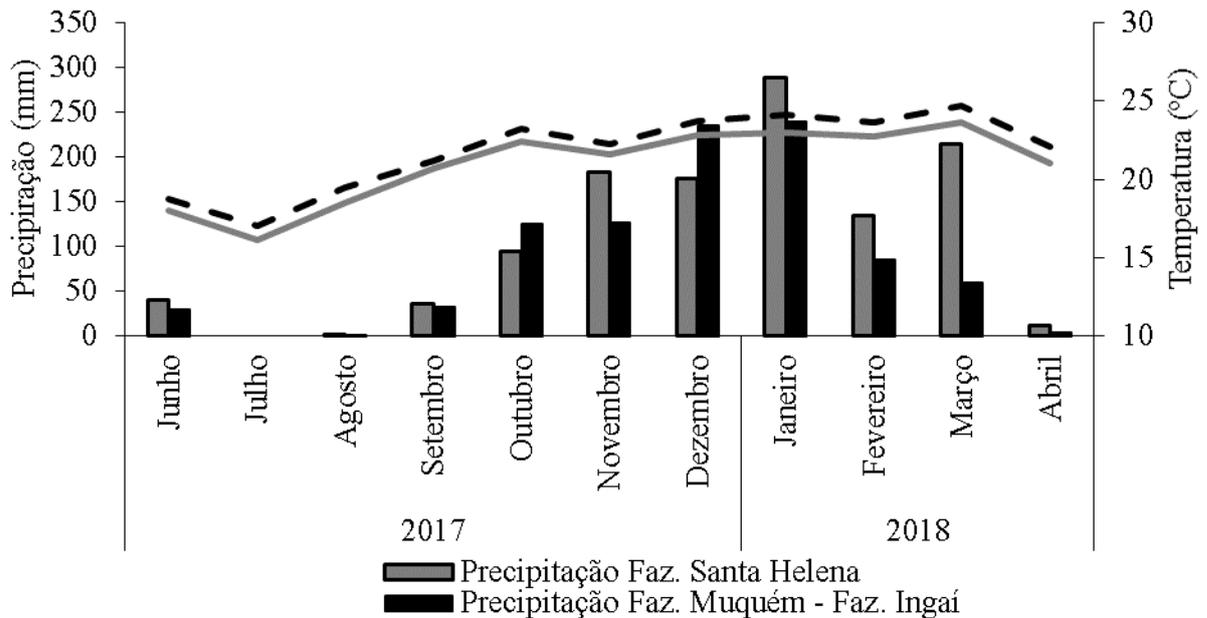
#### 3.2 Caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido em condições de campo, em áreas experimentais localizadas na mesorregião do Campo das Vertentes, sobre LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, argiloso. O clima da mesorregião é temperado chuvoso (cwa), com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média do mês mais quente é de 30 °C, e do mais frio, 11 °C. Na Figura 1 são apresentadas as precipitações pluviométricas e as temperaturas médias

mensais registradas durante o cultivo. Os dados da Fazenda Santa Helena foram cedidos pelo produtor, que possui uma estação meteorológica na propriedade. Por sua vez, os dados referentes às Fazendas Muquém e Ingaí foram obtidos pelo banco de dados da Rede do INMET, os quais representam as duas Fazendas.

Do período de instalação do experimento (aplicação de calcário) até a semeadura da soja choveu 355 e 284 mm, nas Fazendas Santa Helena e Muquém, respectivamente. Na Fazenda Ingaí choveu 760 mm da aplicação calcário até a semeadura do feijão. Durante o ciclo das culturas nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, de 153, 138 e 90 dias, respectivamente, houve um acumulado de chuvas de 918, 654 e 190 mm.

Figura 1 - Precipitações pluviométricas e temperaturas médias mensais ocorridas durante o período dos experimentos.



Fonte: Fazenda Santa Helena; Rede do INMET.

Fonte: Do autor (2019).

Os experimentos foram conduzidos de forma independente em três locais, como pode ser visualizado na Tabela 2. Antes da instalação dos experimentos, os solos haviam sido cultivados com pastagens e milho. No entanto, com pouca utilização de fertilizantes e corretivos. Além disso, já estavam sem atividade agrícola por pelo menos dois anos. As características químicas dos solos antes da instalação do experimento podem ser visualizadas na Tabela 3, e as físicas, na Tabela 4. As características dos calcários que foram utilizados podem ser visualizadas na Tabela 5.

Tabela 2 - Identificação da propriedade, município, coordenadas e altitude dos experimentos.

Fazenda	Município	Coordenadas	Altitude
Santa Helena	Nazareno/MG	-21.232375, -44.547901	1020 m
Muquém	Lavras/MG	-21.185727, -44.998992	918m
Ingaí	Ingaí/MG	-21.425591, -44.938471	950 m

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3 - Propriedades químicas dos solos (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO), em diferentes profundidades, antes da instalação do experimento.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	T	V	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
M	(CaCl <sub>2</sub> )	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>					
<b>Fazenda Santa Helena</b>														
0,0-0,2	5,1	1,7	0,1	1,4	0,5	2,7	4,7	42	26	0,6	3,5	41	25	0,4
0,2-0,4	5,1	0,8	0,1	1,1	0,7	2,4	4,3	44	-	-	-	-	-	-
<b>Fazenda Muquém</b>														
0,0-0,2	5,1	3,4	0,3	3,7	0,9	4,2	9,1	54	33	0,1	1,1	56	56	1,3
0,2-0,4	5,2	2,1	0,2	3,4	0,8	3,2	7,6	58	-	-	-	-	-	-
<b>Fazenda Ingaí</b>														
0,0-0,2	4,6	2,8	0,1	1,4	0,8	7,2	9,5	24	33	0,2	1,0	25	6,3	0,8
0,2-0,4	4,6	2,3	0,1	0,9	0,4	4,0	5,4	25	-	-	-	-	-	-

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 4 - Conteúdo de areia, silte e argila totais dos solos (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO) em diferentes profundidades.

Prof.	Areia	Silte	Argila	Classificação textural
m	g kg <sup>-1</sup>			
<b>Fazenda Santa Helena</b>				
0,0-0,2	251	208	541	Argilosa
0,2-0,4	232	197	571	Argilosa
<b>Fazenda Ingaí</b>				
0,0-0,2	444	161	395	Argilosa
0,2-0,4	425	153	422	Argilosa
<b>Fazenda Muquém</b>				
0,0-0,2	235	303	462	Argilosa
0,2-0,4	239	277	485	Argilosa

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 5 - Análise química dos calcários utilizados para a realização do experimento.

Calcário	Local de uso	RE	PN	PRNT	%	
					CaO	MgO
1	Fazenda Santa Helena	91	91	83	35	20
2	Fazenda Muquém	86	97	83	44	14
3	Fazenda Ingaí	86	90	77	47	14
4	Experimento de Incubação	83	90	74	35	19

RE = reatividade; PN = poder de neutralização; PRNT = poder relativo de neutralização total.

Fonte: Do autor (2019).

### 3.3 Delineamento experimental e condução dos experimentos no campo

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em seis doses de calcário (0, 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>), que foram aplicadas superficialmente e incorporadas com duas passadas de grade pesada (discos de 32 polegadas), seguida de uma subsolagem na Fazenda Santa Helena, e de duas gradagens niveladoras (discos de 20 polegadas), nas demais áreas. O tamanho de cada parcela correspondeu a 10,5 m x 30 m (315 m<sup>2</sup>). Cada parcela constituiu-se de aproximadamente 18 linhas, espaçadas de 0,60 m.

O experimento teve início no ano de 2017, com a aplicação das diferentes doses de calcário. Após a aplicação do calcário e sua incorporação, foi realizada a semeadura das culturas. Na Tabela 6 é possível visualizar o histórico das áreas, com os cultivos e a adubação de semeadura. Além do fertilizante utilizado na semeadura, foram aplicados em cobertura 150 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O nas Fazendas Santa Helena e Ingaí, respectivamente. Durante o cultivo de feijão, no estágio V3, foram aplicados 90 kg ha<sup>-1</sup> de N na Fazenda Ingaí. Nas fazendas Santa Helena e Muquém foi realizada a inoculação das sementes de soja com 8 doses de inoculante (*Bradyrhizobium*). No cultivo de feijão não foi realizada a inoculação.

Tabela 6 - Histórico de operações desde a instalação dos experimentos à colheita.

Fazenda	Aplicação do calcário	Cultura	Cultivar	Adubação de semeadura kg ha <sup>-1</sup>	Data		
					Semeadura	Colheita	
Sta Helena	27/06/17	Soja	NS7670 RR	200 de NPK	08:40:00	15/11/17	17/04/18
Muquém	14/09/17	Soja	M6410 IPRO	350 de NPK	02:30:30	25/11/17	12/04/18
Ingaí	20/09/17	Feijão	BRS Perola	200 de NPK	09:43:00	28/01/18	28/04/18

Fonte: Do autor (2019).

Do momento da aplicação do calcário até a semeadura de cada cultura, foi quantificada uma pluviosidade de 355, 284 e 760 mm nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, respectivamente. Após a aplicação do calcário, todas as operações foram realizadas de acordo com o manejo do produtor, escolha de cultivares, adubações, controle de pragas, plantas daninhas e doenças. As semeaduras das culturas foram realizadas de forma mecânica, com o espaçamento de 0,6 m entrelinhas, regulados para distribuir 16,8, 17,4 e 12,4 sementes por metro nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, respectivamente.

### **3.4 Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo e folha**

Coletou-se as folhas de soja, em ambas as áreas, no mês de janeiro de 2018, de acordo com procedimentos descritos por Raij et al. (1997). As folhas foram coletadas no início do florescimento (estádio R1 a R2), retirando-se sempre o terceiro trifólio, com pecíolo, a partir do ápice das plantas. No caso do feijão, a coleta foi realizada no mês de março de 2018, no início do florescimento (estádio R6), retirando-se também o terceiro trifólio, a partir do ápice das plantas. Para todas as culturas, foram coletados 10 trifólios por parcela. Após a coleta, as amostras de folha foram colocadas para secar em estufa a 65 °C até atingir massa constante, e foram moídas.

Nas amostras de folha foram determinados os teores de N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Zn, B, Cu e Fe, conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

Coletou-se as amostras de solo no final do mês de abril de 2018, em todas as áreas, após a colheita de cada cultura. As amostras foram coletadas com trado holandês nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, em número de cinco amostras simples por parcela, que compuseram uma amostra composta. As amostras compostas foram secadas em um galpão de exaustão, destorroadas, e passadas em peneira de malha 2 mm, para se obter terra fina seca ao ar (TFSA).

Nas amostras de solo foram determinados os valores de pH e os teores de P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme metodologia descrita por Silva (1999). Foram calculados os valores de soma de bases, saturação de bases, capacidade de troca de cátions efetiva e potencial.

### 3.5 Coleta e preparo de amostras e determinação dos atributos físicos

Para a análise de agregados, foram realizados todos procedimentos, a partir da metodologia modificada de Grohmann (1960), a ser descrita abaixo. O solo foi coletado no mês de dezembro de 2017, nas Fazendas Santa Helena e Muquém, e em fevereiro de 2018, na Fazenda Ingaí. Foi amostrada a camada de 0,0-0,2 m, coletando-se aproximadamente 0,5 kg de solo, utilizando-se um enxadão para fazer as coletas. As amostras foram secadas ao ar, sem que houvesse deformação. Após a secagem, o material passou por duas peneiras de malha de 8 e 4,75 mm, respectivamente. O solo que ficou retido na peneira de 4,75 mm foi utilizado para a análise de agregados.

Para a análise de argila dispersa em água, índice de floculação e textura, foram coletadas amostras nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, utilizando-se um trado holandês. As coletas foram realizadas em janeiro de 2018 nas Fazendas Santa Helena e Muquém e, em março de 2018, na Fazenda Ingaí. As amostras foram secadas ao ar e depois peneiradas. Para se obter a TFSA, foi utilizada uma peneira de malha 2 mm.

Para determinação da estabilidade de agregados foram pesadas 2 amostras de 25 g. Uma amostra de 25 g foi transferida para um béquer e, posteriormente, para uma estufa a 105 °C, onde permaneceu por 12 horas. A outra amostra de 25 g foi colocada em papel filtro sob uma caixa de areia para pré-umedecer por 24 horas.

Após o umedecimento, as amostras foram transferidas para a primeira peneira de um conjunto de peneiras acopladas ao agitador de Yoder. As peneiras seguem a seguinte sequência de malhas: 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm. Após agitação por 15 minutos, o conteúdo retido em cada peneira foi transferido para latas identificadas e, posteriormente, para uma estufa a 105 °C, por 48 horas. Após esse período, o material foi pesado e determinou-se diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

Para determinação da textura, adicionou-se em uma garrafa 10 g de TFSA, 10 mL de NaOH e 100 mL de água destilada. A garrafa ficou em agitação por 16 horas a 30 rpm, no agitador de Wagner. Após esse período, o material passou por uma peneira de malha 0,053 mm e, posteriormente, foi transferido para uma proveta de 500 mL. O material de que ficou retido na peneira foi transferido para um béquer e, em seguida, para uma estufa a 105 °C por 24 horas e pesado, a fim de determinar o conteúdo de área

O material adicionado na proveta ficou sedimentando. O tempo de sedimentação foi estimado através da temperatura da solução, segundo a lei de Stokes. Após o tempo de sedimentação, com o auxílio de uma pipeta, retirou-se uma alíquota de 10 mL da suspensão a uma profundidade de 5 cm. O material coletado foi transferido para um béquer e levado para estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse período, pesou-se o material e foi feito o cálculo da textura.

Para determinação da argila dispersa em água, o procedimento foi semelhante ao utilizado para determinação da textura, no entanto, não se adicionou 10 mL de NaOH. O material retido na peneira de malha 0,053 mm foi descartado. O grau de floculação foi determinado por subtração.

### **3.6 Avaliação dos componentes de produção**

Para avaliação dos componentes de produção foram coletadas cinco plantas por parcela de cada cultura, quando atingiram o estágio de maturação fisiológica. Nas plantas coletadas foram avaliados: número de vagens por planta, grãos por vagem, peso de mil sementes e altura de plantas.

A produtividade de grãos foi determinada a partir da colheita de uma área de 9 m<sup>2</sup>, composta por 3 linhas espaçadas a 0,6 metros com 5 metros de comprimento. Foi padronizada a umidade dos grãos para 13% e definida a produtividade da área por parcela. A partir da produtividade dessa área, foi estimada a produtividade por hectare (10.000 m<sup>2</sup>).

### **3.7 Análise estatística**

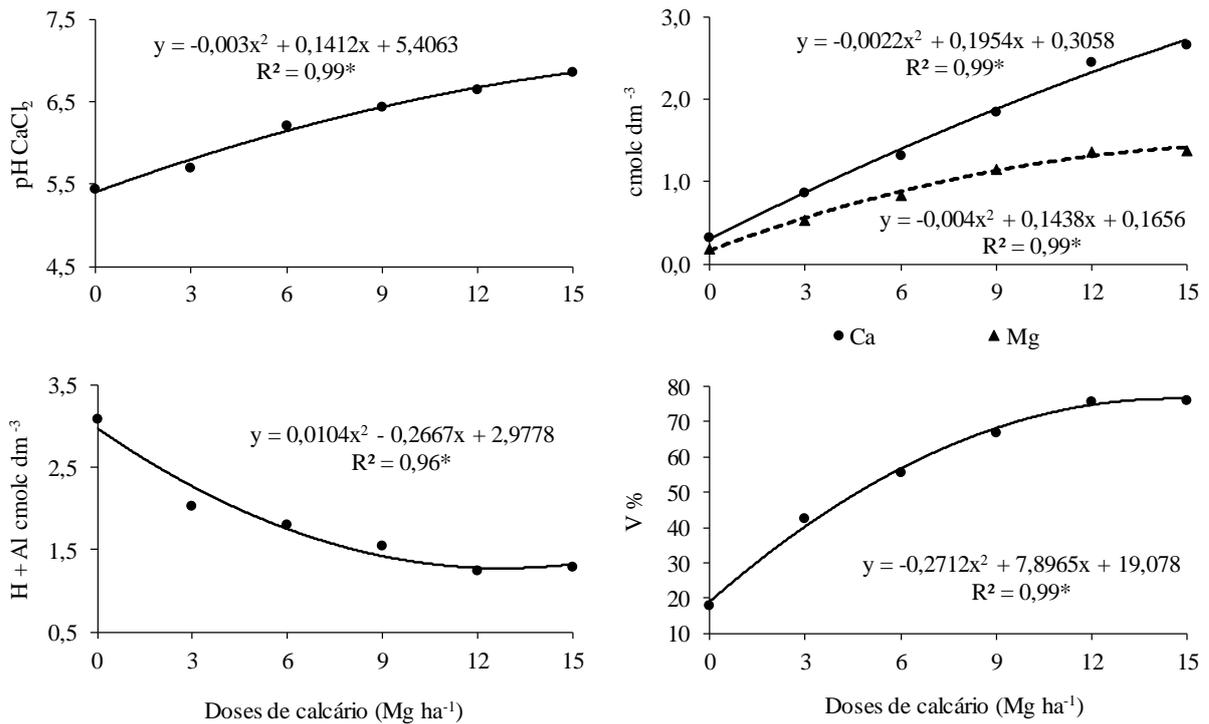
Todos os dados foram submetidos à análise de variância (teste F), os resultados significativos para o teste F, foram submetidos à análise de regressão, os procedimentos adotados seguem aos apresentados por Ramalho et al. (2012). As variáveis de contagem não possuem variância constante nem distribuição normal, sendo assim, não atende as pressuposições exigidas para realizar o teste de F. Desta forma, para analisar estes dados, foi extraída a raiz quadrada de cada observação. Para melhor observação dos dados, foi realizada análise multivariada PCA (*Principal Component Analysis*), a fim de transformar um conjunto de observações em variáveis que possam se correlacionar.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Curva de Incubação do solo

Após três meses de incubação das amostras de solos com as diferentes doses de calcário, houve elevação dos valores de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) e V%, além de aumentos dos teores de Ca e Mg e redução da acidez potencial (H+Al) das amostras de solo, coletadas na camada de 0,0 a 0,4 m, nos três locais (FIGURA 2 a FIGURA 4). Esse fato já era esperado, pois são conhecidos os efeitos da calagem na correção da acidez e aumento dos teores de bases nos solos (BARBOSA FILHO; SILVA; 2000; FAGERIA, 2001a; FAGERIA; STONE; 2004; CAIRES; JORIS, 2016; MOREIRA; MORAES, 2018).

Figura 2 - Valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ , acidez potencial (H+Al) e V%, teores de Ca e Mg, em função da incubação do solo da Fazenda Santa Helena com diferentes doses de calcário.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 3 - Valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ , acidez potencial (H+Al) e V%, teores de Ca e Mg, em função da incubação do solo da Fazenda Muquém com diferentes doses de calcário.

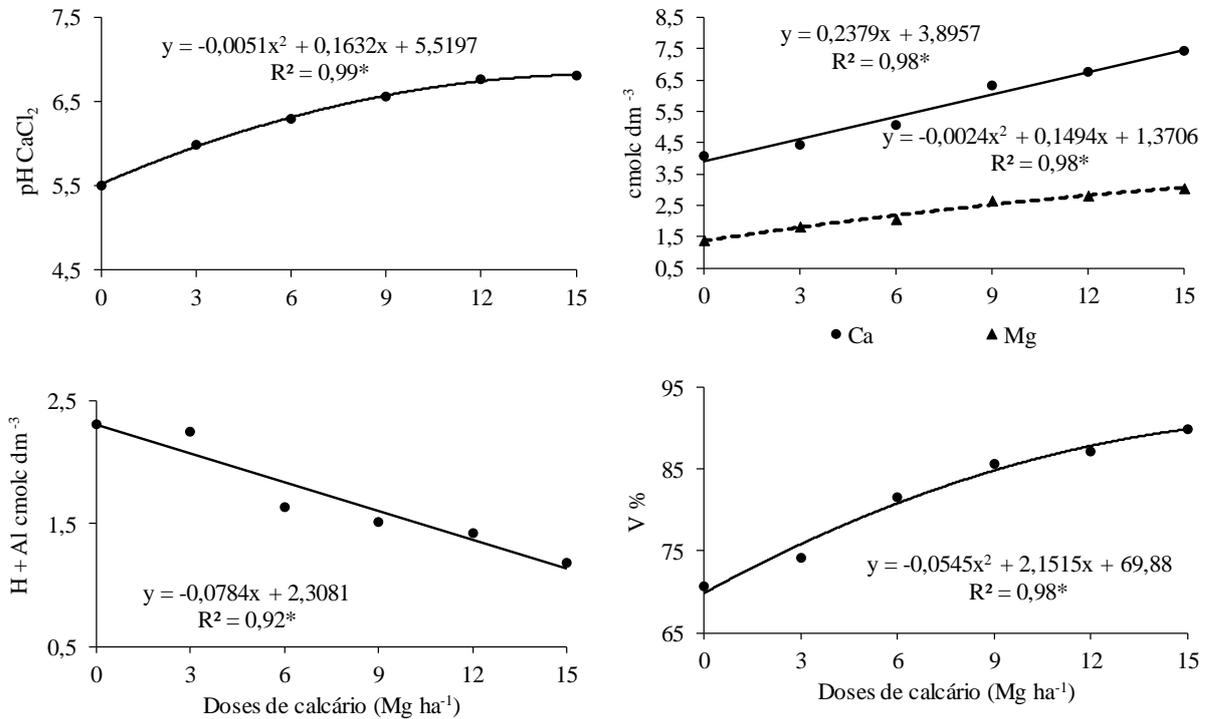
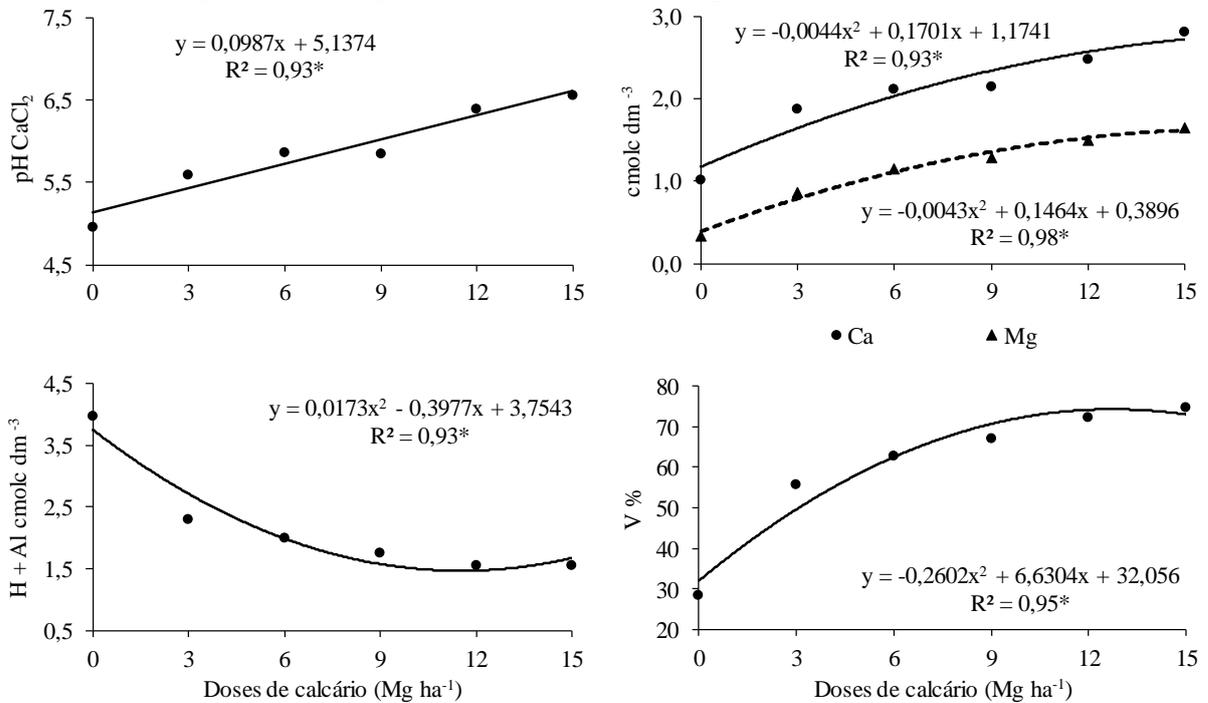


Figura 4 - Valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ , acidez potencial (H+Al) e V%, teores de Ca e Mg, em função da incubação do solo da Fazenda Ingá com diferentes doses de calcário.



Com exceção dos teores de Ca e Mg e H+Al do solo da Fazenda Muquém e do valor de pH (CaCl<sub>2</sub>) do solo da Fazenda Ingaí, os demais valores se ajustaram a um modelo quadrático (FIGURA 2 a FIGURA 4).

De acordo com a Tabela 1, os valores médios iniciais de V% dos solos das fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí eram 18, 71 e 29, respectivamente. Para elevar o V% a 70, valor considerado adequado por Raij (1997), seriam necessárias 2,6, 0,0 e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, com PRNT de 74%. Como esses valores são para a camada de 0,0 a 0,2 m, na prática, para a camada de 0,0 a 0,4 m, as doses necessárias seriam multiplicadas por dois, sendo de 5,2, 0,0 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente.

Estimando-se as doses através das equações de regressão da Figura 2 e Figura 4 seriam necessárias 9,6 e 8,7 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário para que os valores de V% fossem atingidos nas fazendas Santa Helena e Ingaí, respectivamente.

Como a V% da camada de 0,0 a 0,4 m do solo da Fazenda Muquém já estava adequado, na prática não haveria necessidade de calcário na área, no entanto, com a aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup>, o valor máximo obtido foi de 80%. Araújo et al. (2009) fizeram aplicações de doses de calcário em amostras de solo e as incubaram com o objetivo de elevar a V% a 80, atingindo no máximo 60. Esses fatos evidenciam um alto poder tampão destes solos, sendo necessários estudos detalhados para melhor compreensão da sua composição química e mineralógica. Conforme abordado por Moreira e Moraes (2018), há dificuldades de se estimar de forma precisa o poder tampão dos solos.

Considerando-se os valores críticos mínimos de Ca e Mg de 2,4 e 0,9 cmolc dm<sup>-3</sup>, como sendo os mínimos adequados (ALVAREZ et al., 1999), com base nas equações de regressão, seria necessário 12,5 e 6,2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário para que os valores de Ca e Mg fossem atingidos na Fazenda Santa Helena. Se fosse utilizada a dose de 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário para elevar os teores de Ca, o teor de Mg atingiria o valor de 1,3 cmolc dm<sup>-3</sup>, que ainda estaria dentro da faixa adequada (0,9 a 1,5 cmolc dm<sup>-3</sup>), de acordo com Alvarez et al. (1999). Na Fazenda Ingaí, as quantidades de calcário para se atingir esses valores de Ca e Mg seriam de 9,6 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente. Da mesma forma descrita para a Fazenda Santa Helena, se fosse utilizada a dose de 9,6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário para elevar os teores de Ca, atingiria 1,4 cmolc dm<sup>-3</sup> de Mg, valor ainda dentro da faixa adequada.

Comparando as doses obtidas diretamente pelas equações (curva de incubação) com às obtidas pelo método da saturação por bases, pode-se observar que as doses determinadas pelo

método direto (curvas de incubação) foram muito maiores do que as doses calculadas pelo método oficial de recomendação, que é um método indireto. Devido às dificuldades práticas de utilização do método direto na rotina das fazendas, deve-se buscar entender os fatores responsáveis por estas diferenças observadas.

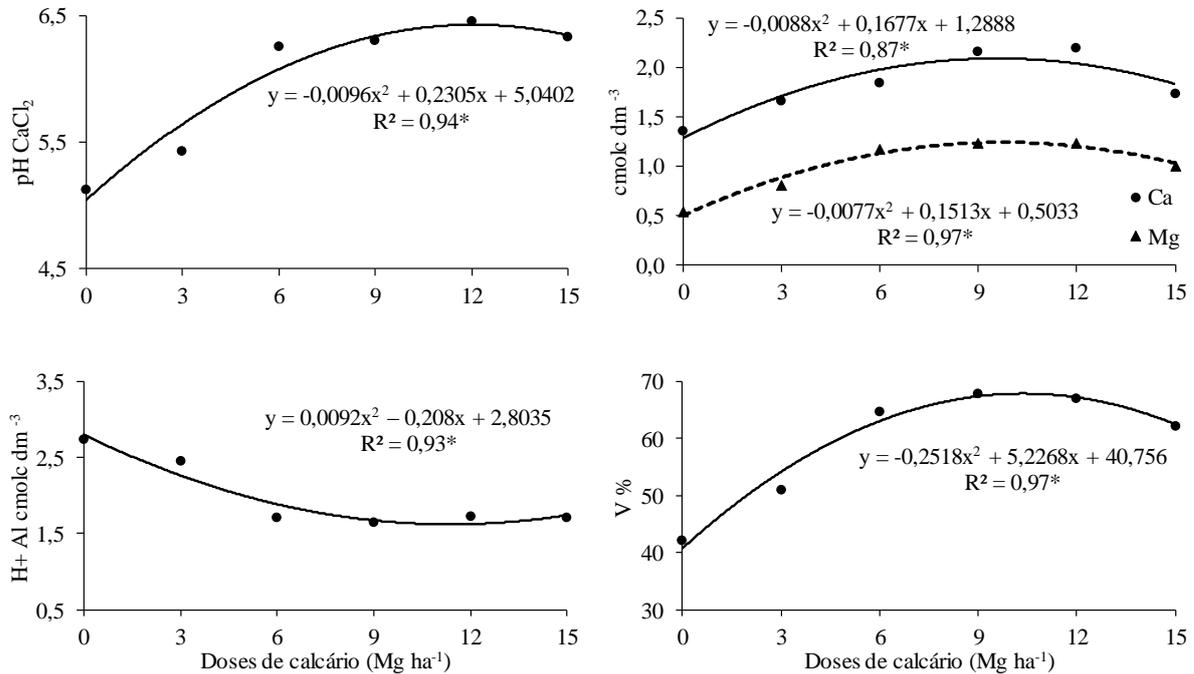
Especula-se que essas diferenças possam ser explicadas pela dificuldade de se estimar a acidez potencial dos solos. De acordo com Kaminski et al. (2002); Kostenko (2015); Leblanc et al. (2016) e Zancanaro et al. (2018), quanto maior o poder tampão do solo, mais difícil é a quantificação dos valores de acidez potencial. Os solos utilizados nos experimentos possuem em média  $480 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e segundo Alvarez et al. (1999) o aumento do poder tampão é diretamente proporcional ao aumento da argila. Desta forma, ao utilizar o método direto de recomendação de calagem somado aos experimentos conduzidos em campo, a longo prazo, pode-se propor um fator de correção para a metodologia da V%.

## **4.2 Experimento de campo**

### **4.2.1 Efeito das doses de calcário nos atributos químicos do solo**

Como era esperado, a aplicação das doses crescentes de calcário reduziu a acidez do solo nos três locais, elevando os valores de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) e reduzindo a acidez potencial (H+Al), além de elevar os teores de Ca e Mg e valores de V% na camada de 0,0 a 0,20 m (FIGURA 5, FIGURA 7 e FIGURA 9). Além disso, na camada de 0,2 a 0,4 m, com exceção dos teores de Ca e Mg e valores de V% do solo da Fazenda Santa Helena (FIGURA 6, FIGURA 8 e FIGURA 10), houve incremento nos teores de Ca e Mg, nos valores de pH e V% e redução dos teores de H+Al dos solos das fazendas Muquém e Ingaí. Nos solos da Fazenda Santa Helena, o aumento das doses de calcário provocou o aumento nos valores de pH e redução dos teores de H+Al.

Figura 5 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo, na camada de 0,0-0,2 m, na Fazenda Santa Helena, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO

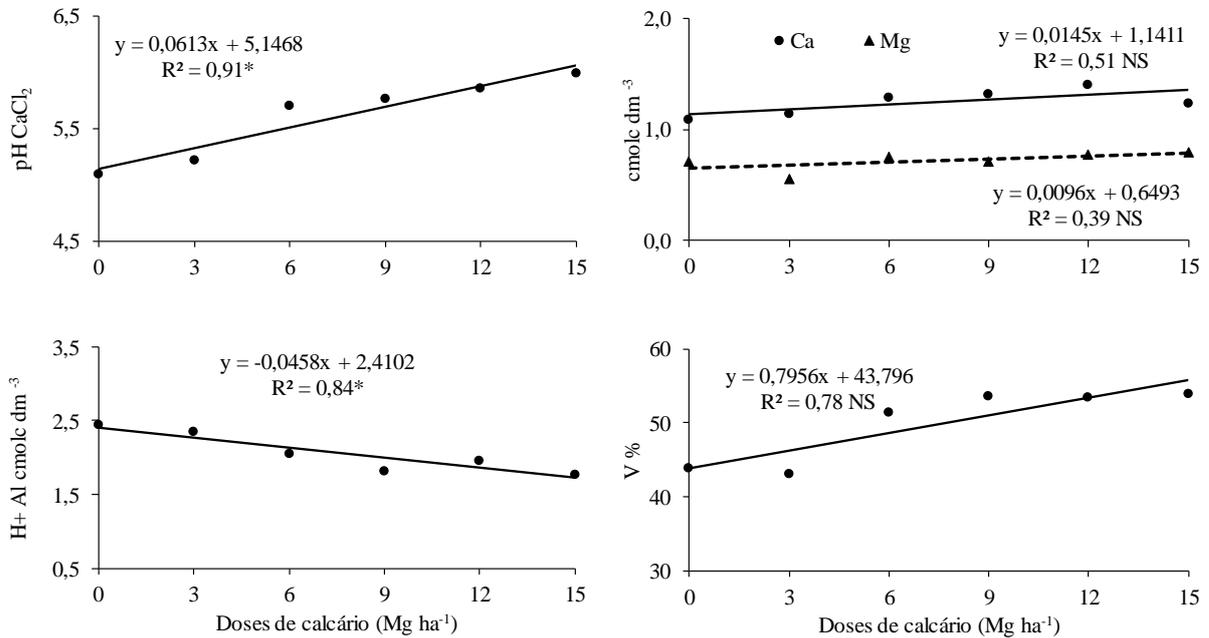


Fonte: Do autor (2019).

Como o calcário foi aplicado nos dias 27/06/2017, 14/09/2017 e 20/09/2017 nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, respectivamente, e as amostras de solo foram retiradas 299, 225 e 222 dias depois da aplicação, acredita-se que ainda há parte do calcário reagindo no solo, o qual ainda provocará mudanças nos atributos do solo nas próximas avaliações. Da aplicação do calcário até as coletas de solo foram quantificadas as pluviosidades de 1181, 908 e 910 mm nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí

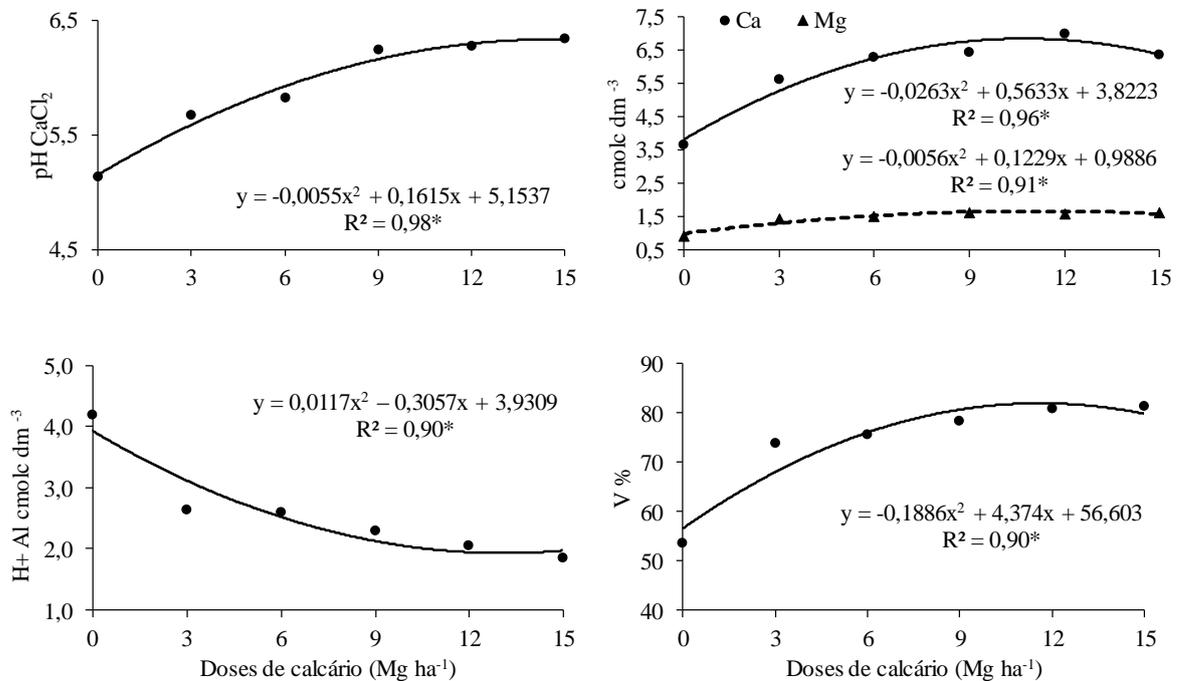
De acordo com a literatura, há um prazo teórico de reação do calcário no solo de três meses (ALCARDE, 1992). No entanto, sabe-se que a reação do calcário no solo é altamente depende de umidade, da composição química do calcário em Ca e Mg, do poder de neutralização e da sua granulometria (ALCARDE, 1992; ZANCANARO, 1996) e mineralogia (ZANCANARO, 1996). Por isso, alguns estudos mostram que após três anos da aplicação do calcário, ainda é possível encontrar no solo, uma parcela do calcário que não reagiu, a qual é variável com o tipo do calcário utilizado (ARAÚJO et al., 2009). Segundo Sousa e Lobato (2004), pode-se considerar de forma teórica uma reatividade de 50, 30 e 20% no primeiro, segundo e terceiro ano, após a aplicação dos corretivos.

Figura 6 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo, na camada de 0,20-0,40 m, na Fazenda Santa Helena, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.



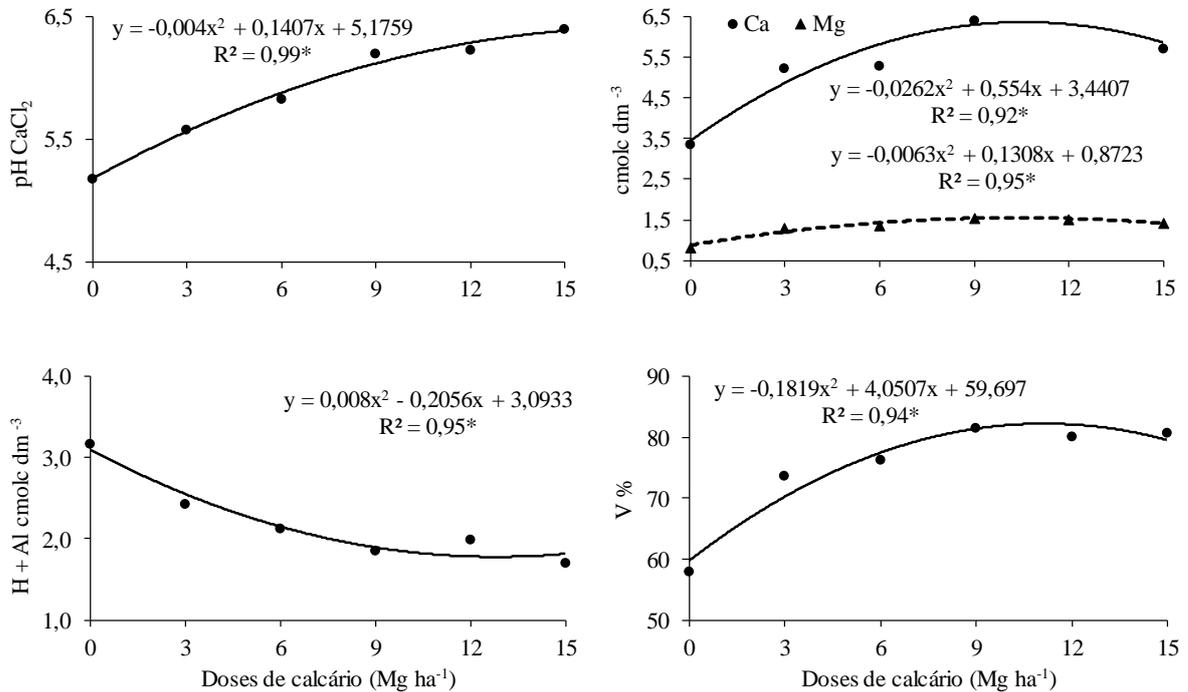
Fonte: Do autor (2019).

Figura 7 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo, na camada de 0,0-0,2 m, na Fazenda Muquém, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.



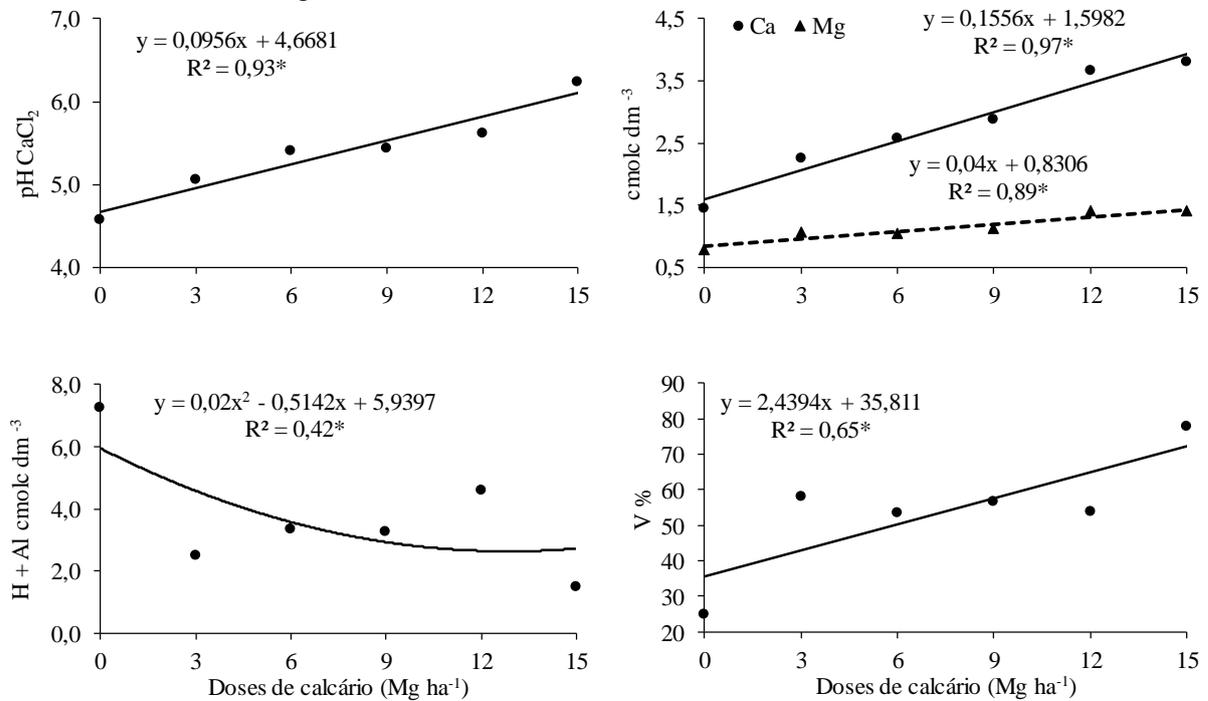
Fonte: Do autor (2019).

Figura 8 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo, na camada de 0,20-0,40 m, na Fazenda Muquém, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.



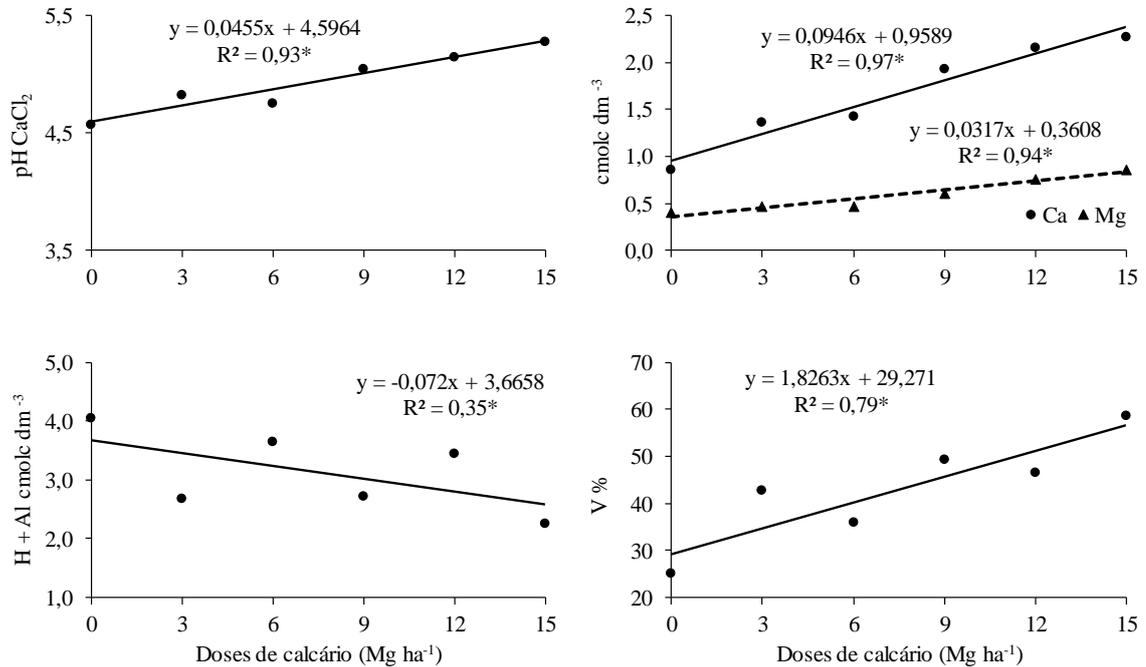
Fonte: Do autor (2019).

Figura 9 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo, na camada de 0,0-0,2 m, na Fazenda Ingaí, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 10 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo, na camada de 0,2-0,4 m, na Fazenda Ingaí, em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.



Fonte: Do autor (2019).

Em todos os solos, os valores médios de pH (CaCl<sub>2</sub>) não ultrapassaram 6,5, no primeiro ano de avaliação, mesmo com a aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Deve ser ressaltado que, normalmente, os valores de pH em água são cerca de 0,6 unidade maior do que o pH em CaCl<sub>2</sub> (TOMÉ JÚNIOR, 1997). Segundo Tomé Júnior (1997) essa diferença pode chegar a 1 unidade em solos ácidos, mas em solos próximos da neutralidade, os dois valores podem ser iguais. Desta forma, se for considerada a diferença de 0,6 unidade, com as doses maiores de calcário os valores de pH em H<sub>2</sub>O estariam próximos de 7,0, valor este que poderia reduzir a disponibilidade de micronutrientes às plantas (CAIRES et al.; 2006; SOUSA et al.; 2007; GUPTA et al., 2008; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; MOREIRA et al., 2017; MOREIRA et al., 2018).

Nota-se também, que os valores médios de V% atingiram números próximos a 70 no solo da Fazenda Santa Helena e de 80 nos solos das Fazendas Muquém e Ingaí, com as doses de 9, 12 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Ressalta-se que para atingir esses valores de V% de 70, 80 e 80 na camada de 0,0 a 0,2 m, considerando-se o calcário aplicado com PRNT de 83, 83 e 77 %, seriam necessárias 1,6; 2,5 e 6,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, baseando-se nas análises iniciais das áreas, descritas na Tabela 3.

Se fossem calculadas as doses de calcário pelo método da saturação por bases, para elevar a V% para 70, considerada adequada por Raij (1997), seriam necessários 1,6, 1,5 e 5,6 Mg ha<sup>-1</sup>, nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, respectivamente. Como na prática a dose para a camada de 0,0 a 0,4 m é obtida pela multiplicação da dose de 0,0 a 0,2 m por 2,0, seriam necessários 3,2, 3,0 e 11,2 Mg ha<sup>-1</sup> nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, respectivamente. Sendo assim, é possível perceber que há uma grande diferença entre a dose calculada pelo método oficial e a dose real para se atingir a V% desejada. Alguns exemplos desta situação podem ser vistos na discussão apresentada por Raij (2011a), onde para se alcançar a produtividade máxima de soja e milho foram necessários aplicar 9 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente. Para esses casos, as doses recomendadas pelo método da saturação por base seriam de 1,6 e 3,8 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Caso fosse considerada a dose máxima aplicada de 15 Mg ha<sup>-1</sup>, os valores teóricos de V% atingidos, baseando-se na fórmula de cálculo do método da saturação por bases, seriam respectivamente de 278, 94 e 118. No entanto, o calcário foi incorporado com grade pesada em todas as propriedades, visando atingir as camadas de 0,0 a 0,4 m. Além disso, pode-se notar que houve efeito pronunciado na camada de 0,2 a 0,4 m (FIGURA 6, FIGURA 8 e FIGURA10)

Na prática, tem sido observado que muitas vezes os valores calculados não têm sido atingidos, dificultando as correções de acidez do solo, principalmente nos primeiros anos de cultivo. Em condições controladas, Araújo et al. (2009) calcularam a necessidade de calcário para se atingir valores de V% de 80, atingindo um máximo de 60. Após quatro anos de cultivo, em um Latossolos Vermelho com 330 g kg<sup>-1</sup> de argila e V% inicial de 31, Fageria (2001b) observou que para atingir V% de 56 e 66, foram necessários, respectivamente, 16 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (69,2% de PRNT, 31,5% de CaO e 11,6% de MgO), aplicados 30 dias antes da semeadura do arroz.

Também em condições de Cerrado, Fageria e Stone (2004) observaram necessidade de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário incorporados 5 meses antes da semeadura (88,3% de PRNT, 32% de CaO e 13,3% de MgO) para-se atingir V% de 72 e 41 nas camadas de 0,0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, respectivamente. Neste caso, a dose teórica calculada para elevar a V% a 70 havia sido de apenas 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> (100% de PRNT). O solo era um Latossolo Vermelho com 370 g kg<sup>-1</sup> de argila, V% inicial de 36,4 e T de 8,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Em um estudo anterior desenvolvido por Barbosa Filho e Silva (2000), num Latossolo Vermelho com 380 g kg<sup>-1</sup> de argila, T de 7,9

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e V% inicial de 29 também houve resultados semelhantes aos anteriores mencionados. A aplicação de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (100% de PRNT) elevou a V% apenas para 60 na camada de 0,0 a 0,2 m. Nesse estudo, a dose calculada para elevar a V% a 70, foi de apenas  $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Os teores de Ca na camada de 0,0 a 0,2 m aumentaram de 1,4, 3,7 e 1,4, considerando a dose zero, para valores médios próximos de 2,2, 6,4; e  $3,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , para as maiores doses de calcário, nas fazendas Muquém, Santa Helena e Ingaí (FIGURA 5, FIGURA 7 e FIGURA 9), respectivamente. Se for considerada a composição química média do calcário utilizado com 42% de CaO e que a adição de  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de Ca, quimicamente equivale a  $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , cada  $1 \text{ Mg ha}^{-1}$  do corretivo adicionaria  $0,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca na camada de 0,0 a 0,2 m. Como o produto foi incorporado numa profundidade próxima de 0,4 m de profundidade, o valor seria diluído para cerca de  $0,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  por tonelada aplicada, considerando uma eficiência teórica de 100%. Assim, esperaria um aumento próximo a  $5,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca com as  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ , que foi a maior dose.

No caso dos teores de Mg na camada de 0,0 a 0,2 m, os valores aumentaram de 0,5, 0,9; e 0,8, considerando-se a dose zero, para valores médios próximos de 1,0, 1,6, e  $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , para as maiores dose de calcário, nas fazendas Muquém, Santa Helena e Ingaí (FIGURA 5, FIGURA 7 e FIGURA 9) respectivamente. Se for considerada a composição química média do calcário utilizado com 16% de MgO e que a adição de  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mg, quimicamente equivale a  $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , cada  $1 \text{ Mg ha}^{-1}$  do corretivo adicionaria  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg na camada de 0,0 a 0,2 m. Como o produto foi incorporado numa profundidade próxima de 0,4 m de profundidade, o valor seria diluído para cerca de  $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  por tonelada aplicada, considerando uma eficiência teórica de 100%. Assim, esperaria um aumento próximo a  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg com as  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ , que foi a maior dose. Desta forma, considerando-se os valores de Ca e Mg obtidos nos solos das três áreas (FIGURA 5 a FIGURA 10), nota-se que os valores observados ainda estão distantes dos calculados. Isso indica que possivelmente uma boa parte do calcário ainda não reagiu, o que está de acordo com o que foi afirmado por Sousa e Lobato (2004), os quais estimam que apenas 50% do calcário incorporado reage no primeiro ano, deixando um residual para reagir nos outros dois anos.

Os teores de B do solo da Fazenda Santa Helena geralmente se encontravam dentro de valores médios ( $0,36$  a  $0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ ), de acordo com Alvarez et al. (1999), não sendo modificados pelas doses de calcário (Tabela 7). Por sua vez, nas fazendas Muquém e Ingaí, os

valores encontrados estavam dentro da faixa de teores muito baixos ( $\leq 0,15 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e baixos (0,16 a 0,36 a 0,60  $\text{mg dm}^{-3}$ ), sendo ainda alterados pelas doses de calcário.

Após a aplicação do calcário, principalmente em solos com altos teores de Al, ocorre a formação de hidróxidos de alumínio, devido à precipitação do íon  $\text{Al}^{3+}$ . Há relatos na literatura que indicam que altas doses de calcário podem reduzir a disponibilidade de B no solo, devido sua adsorção ao  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , formado após a reação do calcário (ROSOLEM; BISCARO, 2007). Para um grupo de solos ácidos, o aumento na adsorção de B foi altamente correlacionado ao alumínio trocável, precipitado pela adição de  $\text{CaCO}_3$ , com efeito mais marcante do  $\text{Al}(\text{OH})_3$  recém-precipitado (SOUZA et al., 1997; PRODROMU, 2004). Rosolem e Biscaro (2007) concluíram que a adsorção de boro pelo solo corrigido com calcário é muito alta no ano de realização da calagem, diminuindo com o tempo.

Tabela 7 - Efeito da calagem nos teores de micronutrientes do solo, na camada de 0,0-0,2 m, na Fazenda Santa Helena, Muquém e Ingaí.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg dm <sup>-3</sup>					
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Santa Helena				
0	0,61	3,5	41	25	0,37
3	0,37	3,0	42	33	0,47
6	0,50	3,0	41	25	0,68
9	0,55	3,5	42	36	0,69
12	0,52	3,1	38	37	0,47
15	0,38	3,4	41	29	0,54
Efeito	NS	NS	NS	NS	Q*
R <sup>2</sup>	-	-	-	-	0,65
C.V. (%)	27,1	13,3	6,9	33,2	18,1
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Muquém				
0	0,13	1,1	56	56	1,32
3	0,12	1,2	55	56	0,97
6	0,10	1,1	42	56	1,11
9	0,13	1,0	39	62	1,23
12	0,09	1,1	40	52	1,22
15	0,10	1,0	38	51	0,87
Efeito	L*	NS	L*	NS	NS
R <sup>2</sup>	0,33	-	0,80	-	-
C.V. (%)	23,0	11,5	11,6	12,4	17,4
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )	Fazenda Ingaí				
0	0,19	1,0	24	6	0,79
3	0,21	1,0	25	7	0,68
6	0,15	0,9	15	6	0,58
9	0,14	0,9	16	6	0,49
12	0,19	0,9	21	8	0,81
15	0,21	0,7	17	8	0,73
Efeito	Q*	L*	Q*	Q*	Q*
R <sup>2</sup>	0,60	0,85	0,54	0,66	0,53
C.V. (%)	14,5	8,4	11,5	13,8	13,8

Fonte: Do autor (2019).

Independentemente da dose de calcário utilizada, os teores de Cu do solo da Fazenda Santa Helena se encontravam dentro de valores altos (> 1,8 mg dm<sup>-3</sup>), de acordo com Alvarez et al. (1999), não sendo modificados pelas doses de calcário (Tabela 7). Por sua vez, nas fazendas Muquém e Ingaí, os valores encontrados geralmente estavam dentro da faixa de

teores médios (0,18 a 1,2 mg dm<sup>-3</sup>), sendo reduzidos pelas doses de calcário apenas no solo de Ingaí. Normalmente são esperadas reduções nos teores de Cu, com a elevação do pH do solo, que é refletido nos teores foliares dos vegetais, como foi demonstrado por Caires et al. (2006). No entanto, a redução não ocorre em todas situações como discutido por Pegoraro et al. (2006) e Moreira et al. (2017).

Os teores de Fe do solo das fazendas Santa Helena e Muquém se encontravam dentro da faixa de valores adequados (31 a 45 mg dm<sup>-3</sup>) ou altos (> 45 mg dm<sup>-3</sup>), de acordo com Alvarez et al. (1999). Por sua vez, os valores observados na Fazenda Ingaí eram baixos (9 a 18 mg dm<sup>-3</sup>) ou médios (19 a 30 mg dm<sup>-3</sup>). Deve ser destacado que nas fazendas Muquém e Ingaí, os teores foram reduzidos pelas doses de calcário (Tabela 7). Com o aumento de pH são esperadas reduções dos teores de Fe<sup>2+</sup> e aumento das formas oxidadas de ferro, reduzindo a disponibilidade do micronutriente às plantas, conforme observado nos dois locais estudados (SHUMAN, 1986; RHOTON, 2000; CAIRES et al., 2003).

Nas fazendas Santa Helena e Muquém, os teores de Mn encontrados estavam acima de 12 mg dm<sup>-3</sup>, que é considerado um valor alto, de acordo com Alvarez et al. (1999). Por sua vez, os valores observados na Fazenda Ingaí eram médios (6 a 8 mg dm<sup>-3</sup>). Deve ser destacado que na Fazenda Ingaí, os teores foram pouco modificados pelas doses de calcário (Tabela 7). Diferentemente do esperado, os teores de Mn não foram modificados pelas doses crescentes de calcário nas fazendas Santa Helena e Muquém e ainda foram levemente aumentados no solo da Fazenda Muquém, com as doses de calcário (Tabela 7). Esperavam-se reduções dos teores de Mn<sup>2+</sup> e aumento das formas oxidadas de Mn (SANDERS, 1983; SANZONOWICZ, 1995; DAVIS-CARTER; SHUMAN, 1993; CAIRES; FONSECA, 2000; CAIRES et al., 2008), reduzindo sua disponibilidade às plantas (RHOTON, 2000), fato geralmente não observado no presente estudo. A elevação do pH também aumenta a ação de microrganismos que oxidam o Mn<sup>2+</sup> em complexos mais estáveis com a M.O. (SANZONOWICZ, 1995).

Quanto ao Zn no solo, os teores variaram de muito baixo ( $\leq 0,4$  mg dm<sup>-3</sup>) a baixo (0,5 a 0,9 mg dm<sup>-3</sup>), sendo normalmente médios na Fazenda Muquém (1 a 1,5 mg dm<sup>-3</sup>), de acordo com Alvarez et al. (1999). Nas fazendas Muquém e Ingaí, os teores foram levemente afetados pelas doses de calcário (Tabela 7). Eram esperadas reduções dos teores de Zn<sup>2+</sup> e aumento das formas oxidadas, com menor disponibilidade do Zn às plantas, com aumento dos valores de

pH do solo (RHOTON, 2000; CAIRES; FONSECA, 2000; CAIRES et al., 2003), conforme observado nos dois locais estudados.

Na Tabela 8 são apresentadas as concentrações foliares de nutrientes em soja e feijão, em função das doses crescentes de calcário. Nas Fazendas Santa Helena e Muquém as concentrações de N nas folhas de soja estavam abaixo dos valores considerados adequados por Raij et al. (1997), que são de 40 a 54 g kg<sup>-1</sup>. Os valores foram alterados pelas doses de calcário apenas na Fazenda Muquém. Em áreas de primeiro ano de cultivo de soja é possível que as concentrações de N nas folhas fiquem abaixo dos valores adequados, pois a principal forma de suprir a demanda de N na soja é através da fixação biológica de nitrogênio (FBN). De acordo Chueiri et al. (2005), em áreas de primeiro ano, a população de bactérias do gênero *Bradyrhizobium* ainda são baixas, podendo ocorrer grande competição com estirpes nativas, reduzindo a atividade das estirpes selecionadas, o que reduz absorção de N pela cultura da soja. Vale ressaltar, que a correção da acidez do solo traz grandes benefícios para a FBN, melhorando o ambiente para as bactérias (HUNGRIA; VARGAS, 2000; RUFINI et al., 2011). Na Fazenda Ingaí, observou-se alteração nas concentrações de N nos tecidos foliares do feijoeiro, no entanto, todos os valores estavam dentro do descrito por Raij et al. (1997), que são de 30 a 50 g kg<sup>-1</sup>.

No caso das concentrações de P, nas folhas de soja, os valores observados nas lavouras cultivadas nas Fazendas Santa Helena e Muquém estavam dentro dos considerados adequados por Raij et al. (1997), que são de 2,5 a 5 g kg<sup>-1</sup>. Observou-se na Fazenda Santa Helena um incremento de 25% na concentração de P no tecido foliar, na dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup>. De acordo com Novais et al. (2007), a calagem reduz a adsorção de P aos oxidróxidos de ferro e alumínio, aumentando assim, a disponibilidade deste nutriente na solução do solo e, com isso, ocorre maior absorção pelas plantas.

Os valores adequados de P foliar para a cultura do feijão de acordo com Raij et al. (1997) são de 2,5 a 4 g kg<sup>-1</sup>. Na Fazenda Ingaí, as concentrações não foram alteradas pelas doses de calcário, mas ficaram abaixo dos valores ideais. Os solos de regiões tropicais são pobres em P, demandando doses elevadas de fertilizantes fosfatados para suprir os sítios de adsorção. Nesta área foram aplicados apenas 86 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (RAIJ et al., 2011b; PROCHNOW, 2017; MOREIRA; MACEDO, 2018).

Na soja cultivada na Fazenda Santa Helena e Muquém as concentrações de Ca, Mg, K e S estavam dentro dos valores considerados adequados por Raij et al. (1997), as quais são de

4 a 20, 3,0 a 10, 17 a 25 e de 2,1 a 4,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Apenas na Fazenda Santa Helena houve aumento linear de S com as doses de calcário. De acordo com Alvarez et al. (1999), com a elevação do pH ocorre o deslocamento do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para a solução do solo, o qual estava adsorvido, aumentando a disponibilidade para as plantas.

No caso da cultura do feijão, houve um efeito quadrático das doses aplicadas, aumentando as concentrações foliares de Ca e Mg, as quais mantiveram-se dentro dos valores considerados adequados por Rajj et al. (1997), que são de 10 a 25 e de 2,5 a 5,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Caires et al. (2003) e Moreira et al. (2001), trabalhando com doses de calcário, observaram aumento das concentrações de Ca e Mg nas folhas de soja, o que já era esperado devido ao aumento dos teores desses nutrientes no solo com as doses de calcário.

Tabela 8 - Concentrações de nutrientes nas folhas de soja e feijão em função de doses crescentes de calcário.

Tratamento	N	P	Ca	K	Mg	S	B	Cu	Fe	Zn	Mn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )	Soja - Fazenda Santa Helena										
0	38	2,0	13	22	3,9	3,0	50	3,6	151	15	93
3	36	2,2	12	23	4,1	2,9	52	4,2	139	24	98
6	35	2,2	11	23	4,2	3,0	55	5,1	152	17	83
9	38	2,3	12	23	4,3	3,1	51	5,6	145	20	101
12	36	2,4	12	24	4,4	3,4	50	7,1	302	17	80
15	38	2,5	12	23	4,5	3,2	49	4,7	242	20	105
Efeito	NS	L *	NS	NS	NS	L *	Q*	Q*	L *	NS	NS
R <sup>2</sup>	-	0,91	-	-	-	0,60	0,71	0,66	0,54	-	-
C.V. (%)	7,5	8,4	9,2	3,7	5,7	5,5	4,2	14,9	21,8	26,0	17,1
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )	Soja - Fazenda Muquém										
0	17	2,5	10	23	3,1	2,2	38	7,0	69	36	57
3	13	2,6	11	24	3,3	2,3	37	6,7	76	36	49
6	23	2,6	11	21	3,2	2,3	36	7,2	81	43	48
9	14	2,6	10	23	3,1	2,2	31	6,5	75	36	48
12	23	2,6	11	22	3,2	2,3	32	6,7	74	33	47
15	25	2,6	10	20	3,1	2,2	31	6,8	72	40	42
Efeito	L *	NS	NS	NS	NS	NS	L *	NS	Q *	NS	NS
R <sup>2</sup>	0,45	-	-	-	-	-	0,91	-	0,73	-	-
C.V. (%)	23,3	6,7	3,7	3,4	5,0	7,9	4,8	5,9	4,7	11,3	21,8
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )	Feijão - Fazenda Ingaí										
0	40	1,7	8	21	2,7	2,0	26	4,9	63	25	79
3	35	1,8	10	22	3,1	2,3	28	5,3	76	27	52
6	38	1,9	11	21	3,0	2,2	25	4,6	79	22	38
9	29	1,9	12	20	3,2	2,2	24	4,6	80	18	35
12	35	1,9	12	22	3,2	2,3	25	5,4	74	21	29
15	37	1,9	13	22	3,2	2,2	23	4,8	80	20	34
Efeito	Q *	NS	Q *	NS	Q *	Q *	L *	NS	Q *	Q *	Q *
R <sup>2</sup>	0,47	-	0,98	-	0,77	0,47	0,58	-	0,71	0,69	0,98
C.V. (%)	7,76	8,41	6,66	4,52	4,96	5,09	6,34	8,61	6,33	7,13	8,01

L e Q: efeitos linear e quadrático por análise de regressão; ns: não-significativo; respectivamente; \* significativo a 5%.

Fonte: Do autor (2019).

As concentrações de B nas folhas reduziram em função da calagem, mas as variações nos números absolutos foram pequenas, permanecendo dentro dos valores adequados que segundo Raij et al. (1997), que são de 21 a 55 e de 15 a 26 mg kg<sup>-1</sup> para soja e feijão, respectivamente. Isso pode ser explicado pelos teores de B no solo, que foram médios na Fazenda Santa Helena e muito baixos nas fazendas Muquém e Ingaí. A aplicação das maiores doses de calcário, reduziu a disponibilidade de B no solo das fazendas Muquém e Ingaí (Tabela 7), o que contribui para a diminuição da absorção pelas plantas.

Observou-se resposta quadrática com aumento para a concentração foliar de Cu na soja cultivada na Fazenda Santa Helena, com aumento da concentração de Cu até a dose de 12 Mg ha<sup>-1</sup>. No solo, os teores desse micronutriente se encontram altos segundo Alvarez et al. (1999) e não foi observado efeito da calagem sobre a concentração de Cu nas folhas de soja e feijão, na Fazenda Muquém e Ingaí, respectivamente. Esse pequeno aumento nas concentrações de Cu nas folhas de soja cultivadas na Fazenda Santa Helena não era esperado, primeiramente porque os teores no solo não foram modificados com as doses de calcário. Além disso, quando se eleva o pH do solo, normalmente há redução de disponibilidade de Cu<sup>2+</sup> (CAIRES et al., 2006; MOREIRA et al., 2017).

As concentrações de Fe nas folhas de soja e feijão, estavam dentro de valores considerados adequados de 50 a 350 mg kg<sup>-1</sup> e 40 a 140 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, de acordo com Raij et al. (1997). As maiores concentrações obtidas foram nas doses de 12 Mg ha<sup>-1</sup>, 6 Mg ha<sup>-1</sup> e 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, para as fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, respectivamente.

É possível perceber que com o aumento das doses de calcário, houve um pequeno aumento na concentração deste micronutriente nos tecidos foliares, diferentemente do que ocorreu no solo (Tabela 7), principalmente para as fazendas Muquém e Ingaí. Estes resultados divergem da literatura, que diz que com a elevação do pH pode-se reduzir a disponibilidade de Fe às plantas (RHOTON, 2000; CAIRES et al., 2003). Ressalta-se que apesar de ter ocorrido diferenças estatísticas, em termos absolutos as variações foram pequenas, sem comprometer a nutrição das plantas.

De modo geral, não houve influência da calagem nas concentrações de Zn nos tecidos foliares da soja (Tabela 8). As concentrações foliares de Zn na soja cultivada na Fazenda Muquém não foram influenciadas pelas doses de calcário, permanecendo dentro dos limites

adequados, de 20 a 50 mg kg<sup>-1</sup> de acordo com Raij et al. (1997). Nesta área os valores de Zn no solo foram classificados como médios de acordo com Alvarez et al. (1999).

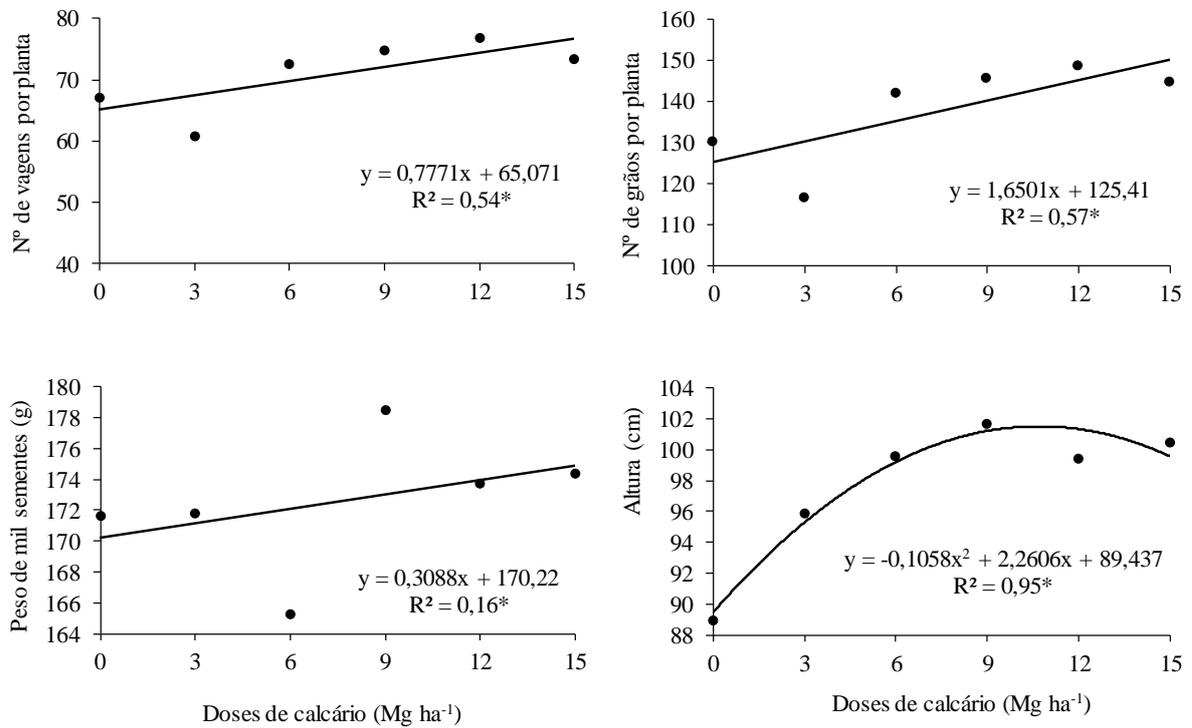
Na Fazenda Santa Helena não foi observado efeito da calagem nas concentrações de Zn nas folhas de soja, as quais estavam abaixo dos limites adequados, isso porque no solo os teores se encontraram em níveis muito baixos ou baixos (Tabela 7), segundo Alvarez et al. (1999).

No cultivo de feijão na Fazenda Ingaí, ao aumentar as doses de calcário, observou-se efeito quadrático negativo para as concentrações foliares de Zn, devido ao aumento do pH que reduz a disponibilidade de Zn para as plantas (RHOTON, 2000; CAIRES; FONSECA, 2000; CAIRES et al., 2003). No entanto, mesmo com a aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup>, a concentração de Zn estava dentro dos limites adequados, de acordo com Raij et al. (1997), que é de 18 a 50 mg kg<sup>-1</sup>.

Em ambos os cultivos de soja (Fazendas Santa Helena e Muquém), não foi observado influência da calagem sobre a concentração de Mn nas folhas, sendo que os valores encontrados estavam dentro da faixa de concentrações adequadas (20 a 100 mg kg<sup>-1</sup>). Por sua vez, no cultivo de feijão na Fazenda Ingaí, observou-se resposta quadrática negativa para as concentrações de Mn nas folhas de feijão, em função das doses de calcário. No entanto, mesmo com uma redução de 57% da concentração de Mn, os valores permaneceram dentro dos adequados, de 15 a 100 mg kg<sup>-1</sup> de acordo com Raij et al. (1997). No solo, os teores desse micronutriente observados foram médios segundo Alvarez et al. (1999).

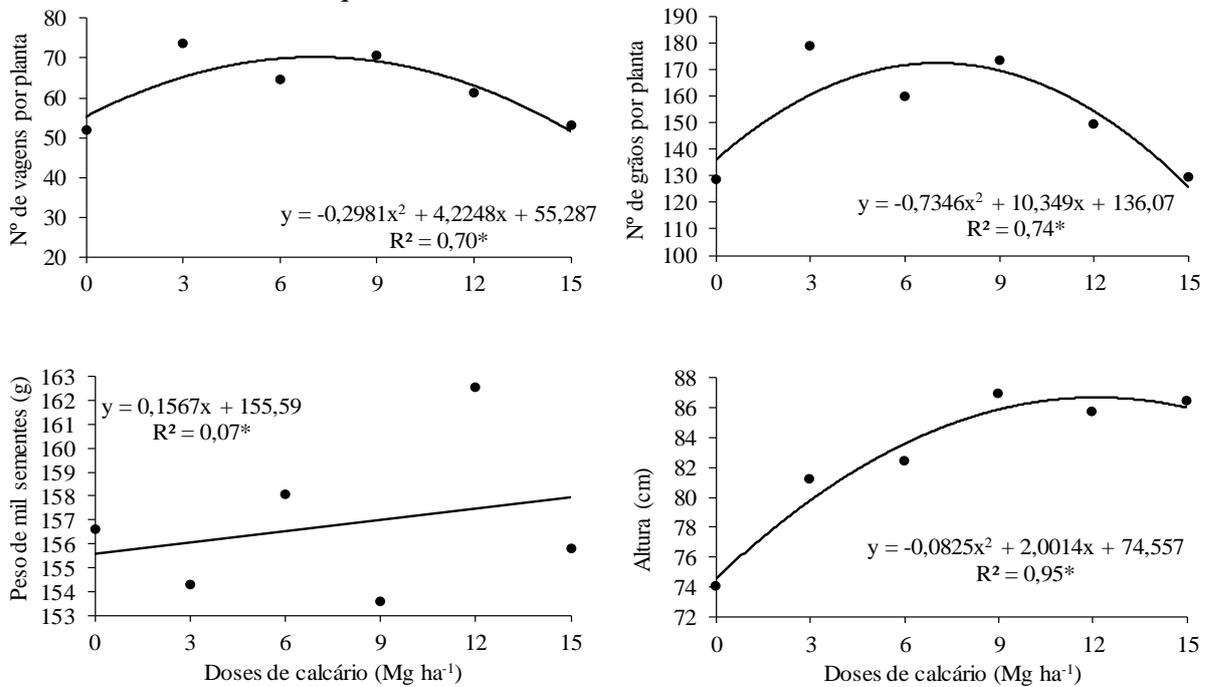
De forma geral, pode-se dizer que as doses de calcário influenciaram significativamente no número de vagens e grãos por planta e na altura das plantas de soja, cultivadas nas fazendas Santa Helena e Muquém (FIGURA 11 e FIGURA 12), não sendo observada diferença entre o peso de mil sementes em função das doses de calcário. Por sua vez, para o feijão cultivado na Fazenda Ingaí, não foi observado efeito significativo das doses de calcário sobre os caracteres avaliados (FIGURA 13). Na fazenda Santa Helena, houve incremento médio de 12% para o número de vagens por planta e grãos por planta, na dose que se observou maior produtividade (FIGURA 14), que foi de 9,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Para altura, houve aumento de 14,6% para esta mesma dose. Na fazenda Muquém, o incremento do número de vagens por planta e grãos por planta não foi observado na dose que proporcionou maior produtividade, que foi a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup> (FIGURA 14). Nesta dose observou-se efeito significativo para altura de plantas com um incremento de 17%.

Figura 11 - Caracteres agrônômicos da soja cultivada com diferentes doses de calcário na Fazenda Santa Helena.



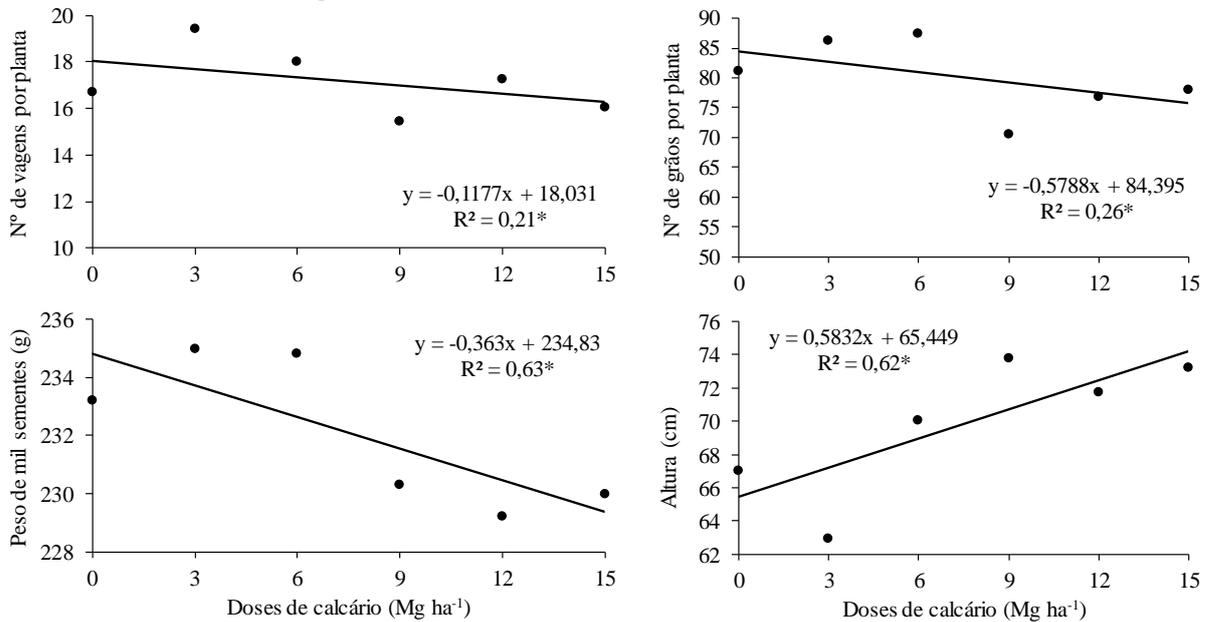
Fonte: Do autor (2019).

Figura 12 - Caracteres agrônômicos da soja cultivada com diferentes doses de calcário na Fazenda Muquém.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 13 - Caracteres agrônômicos do feijão cultivado com diferentes doses de calcário na Fazenda Ingaí.



Fonte: Do autor (2019).

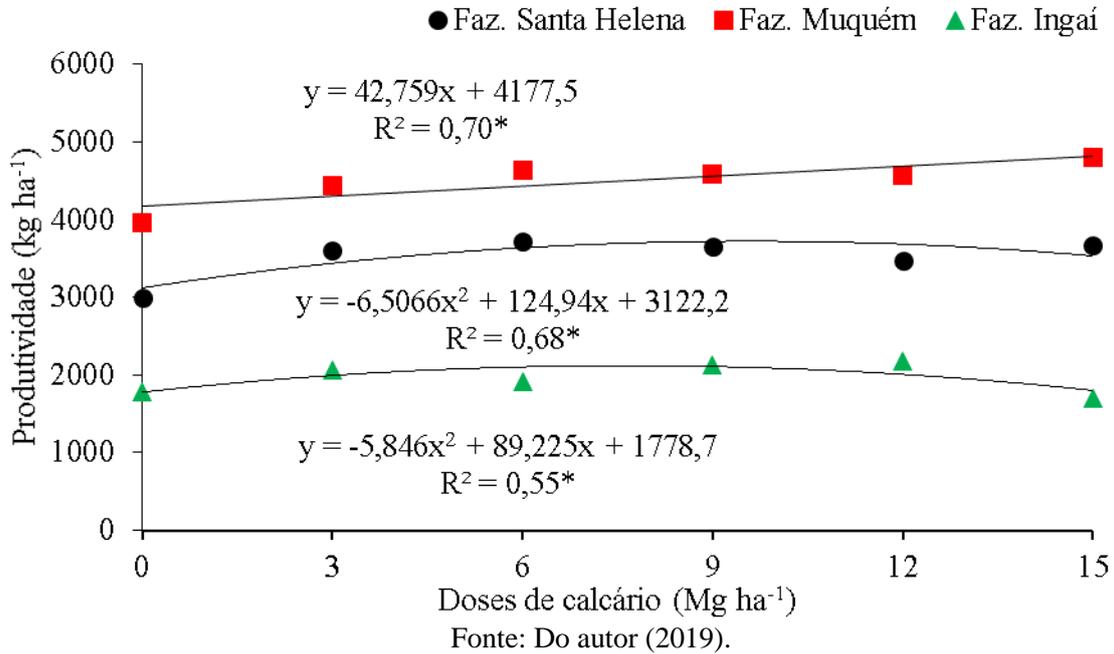
Com relação a produtividade das culturas, houve aumento significativo na produtividade nas de soja e feijão, com a aplicação das doses crescentes de calcário (FIGURA 14). De acordo com a equação de regressão obtida, a produtividade máxima de soja na Fazenda Santa Helena, ocorreu com a aplicação de 9,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Comparando-se com o controle, houve um incremento de produtividade de 24%. É importante ressaltar, que a dose que elevou a V% a 70, foi de 9 Mg ha<sup>-1</sup>, próxima a dose para obtenção de máxima produtividade, mostrando correlação significativa entre V% e produtividade ( $r = 0,67$ ,  $p < 0,05$ ). Caso a calagem fosse recomendada pelo método da V%, a dose seria de apenas 3,2 Mg ha<sup>-1</sup>. De acordo com a equação de regressão, o incremento seria de 15% na produtividade.

No caso da Fazenda Muquém foi observado um incremento de 21% na produtividade da soja, com a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Nessa mesma dose, a V% atingida foi de 80, mostrando a importância de elevar os teores de Ca e Mg tanto na camada de 0,0 a 0,2 m, quanto na de 0,20 a 0,40 m. Também houve correlação positiva com a produtividade ( $r = 0,43$ ,  $p < 0,05$ ). Ressalta-se que, se fosse utilizado o método da V%, não seria recomendado a aplicação de calcário. Garbuio (2009), trabalhando com a aplicação de doses de calcário em Latossolo Vermelho, com V% inicial de 9,7, precisou de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT 85% e  $T = 12,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) para aumentar os teores de Ca e Mg e incrementar 15% a produtividade da soja. Posteriormente, Veronese (2011), cultivou soja em um Latossolo

Vermelho-Amarelo, com V% inicial de 27 e obteve incremento de produtividade de 20% com a dose de 8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT 76% e T = 10,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Em ambos os trabalhos citados anteriormente, a dose necessária para se elevar a V% a 70, considerada adequada por Raij (1997), seria de 8,5 e 5,9 Mg ha<sup>-1</sup>.

No cultivo de feijão na Fazenda Ingaí, observou-se um incremento de produtividade de 18%, com a utilização da dose de 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, que seria a dose para se obter a produtividade máxima de feijão, de acordo com a equação regressão. Embora a dose que elevou a V% para 70 foi de 15 Mg ha<sup>-1</sup> (FIGURA 9), a dose que proporcionou maior produtividade do cultivar BRS Perola, foi a metade desta. Com a aplicação de 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, elevou-se a V% para 54, e os teores de Ca e Mg para 2,8 e 1,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Calculando a calagem para elevar a V% para 54, pelo método da saturação por bases, seriam necessários 7,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Embora os valores calculados sejam próximos daqueles para obtenção da máxima produtividade do feijão no primeiro ano de cultivo, vale ressaltar que é preciso pensar no sistema de produção de grãos como um todo a longo prazo, buscando construir a fertilidade do solo com o objetivo de atender a cultura mais exigente e implantar de maneira eficiente o SPD como discutido na literatura (KAPPES; ZANCANARO, 2014; RESENDE et al., 2016; MOREIRA; MORAES, 2018; ZANCANARO et al., 2018). Barbosa Filho e Silva (2000), num Latossolo Vermelho, V% inicial de 29, obteve incremento na produtividade do feijoeiro de 36%, com a aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (100% de PRNT, T = 7,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Nesse estudo, a dose calculada para elevar a V% a 70, foi de apenas 3,2 Mg ha<sup>-1</sup>.

Figura 14 - Produtividade de soja e feijão em função das diferentes doses de calcário aplicadas nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí.



#### 4.3 Influência das doses de calcário nos atributos físicos do solo

De maneira geral, pode-se dizer que as doses de calcário não interferiram nos atributos físicos do solo, que indicam a susceptibilidade à erosão (Tabela 9). Neste experimento foi possível aplicar a dose de até 15 Mg ha<sup>-1</sup> em todas as áreas estudadas sem causar nenhum prejuízo para os atributos avaliados, os quais foram: argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP).

Observou-se um efeito quadrático nas doses de calcário sobre a ADA, onde a calagem aumentou os valores de ADA em 10% na Fazenda Santa Helena e reduziu em 10% os valores de ADA, na Fazenda Ingaí. Com isso, é possível observar que até a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup>, o calcário aplicado não foi suficiente para extrapolar a condição inicial de ADA e, com isso, não promoveram efeito negativo sobre a susceptibilidade erosão. Tal fato é discutido por Chan e Heenan (1999), Albuquerque et al. (2000, 2003), Costa et al. (2004) e Griève et al. (2005), que demonstram que a correção da acidez melhora o ambiente radicular, permitindo maior exploração das raízes, o que minimiza o efeito deletério da ADA. Além disso, contribui para a manutenção da estabilidade de agregados, a qual não foi afetada em nenhuma das áreas estudadas. Na Fazenda Ingaí, foi possível observar efeito quadrático para o aumento da floculação em função das doses de calcário.

É importante ressaltar, que visou-se incorporar o calcário até a profundidade de 0,4 m, a fim de construir a fertilidade do solo ao longo do perfil. Não foi observado efeito negativo nos atributos físicos da calagem em profundidade (Tabela 9), mostrando que a aplicação de calcário possui efeito benéfico para os atributos físicos do solo, assim como relatado por Bortoluzzi et al. (2008, 2010), pois aumenta a produção de matéria seca estimulando o crescimento radicular.

Tabela 9 - Influência da calagem nos atributos físicos do solo na camada de 0,0 a 0,2 m: argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP).

Tratamento	ADA	IF	DMG	DMP	Argila	Areia	Silte
	g kg <sup>-1</sup>	%	— mm —		— g kg <sup>-1</sup> —		
Fazenda Santa Helena							
Calcário Mg ha <sup>-1</sup>							
0	20,7	60,3	3,8	4,3	530	270	190
3	22,1	58,7	2,6	3,7	530	270	190
6	21,0	61,9	3,4	4,3	550	260	180
9	22,7	58,1	3,7	4,5	540	270	190
12	21,5	59,9	3,4	4,3	540	200	260
15	22,8	57,9	4,0	4,6	540	230	230
Efeito	Q*	NS	NS	NS	-	-	-
R <sup>2</sup>	34,2	-	-	-	-	-	-
C.V.%	5,1	22,1	10,1	7,0	-	-	-
Fazenda Muquém							
Calcário Mg ha <sup>-1</sup>							
0	19,3	58,6	4,4	4,8	470	230	300
3	16,9	62,4	4,7	4,9	450	230	320
6	18,2	62,1	4,7	4,9	480	230	290
9	18,7	59,5	4,4	4,8	460	230	310
12	17,0	61,3	4,6	4,8	440	240	320
15	16,9	64,1	4,3	4,7	470	240	290
Efeito	NS	NS	NS	NS	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-
C.V.%	6,2	1,4	19,1	11,7	-	-	-
Fazenda Ingaí							
Calcário Mg ha <sup>-1</sup>							
0	16,0	59,5	4,8	5,0	390	450	160
3	13,8	66,4	4,8	4,9	410	430	160
6	13,8	64,4	4,6	4,8	390	460	160
9	13,9	64,9	4,5	4,8	390	440	170
12	13,8	64,9	4,5	4,8	390	450	160
15	14,4	63,6	4,7	4,9	400	440	160
Efeito	Q*	Q*	NS	NS	-	-	-
R <sup>2</sup>	81,3	79,4	-	-	-	-	-
C.V.%	1,7	0,7	18,6	9,7	-	-	-

L e Q: efeitos linear e quadrático por análise de regressão; ns: não significativo; respectivamente; \* significativo a 5%.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 10 - Influência da calagem nos atributos físicos do solo na camada de 0,2 a 0,4 m: argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF).

Tratamento	ADA	IF	Argila	Areia	Silte
	g kg <sup>-1</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>		
Calcário Mg ha <sup>-1</sup>	Fazenda Santa Helena				
0	20,7	60,3	560	250	190
3	22,1	58,7	560	250	190
6	21,0	61,9	570	240	190
9	22,7	58,1	570	240	190
12	21,5	59,9	580	190	220
15	22,8	57,9	580	220	210
Efeito	NS	NS	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
C.V.%	72,6	16,3	-	-	-
Calcário Mg ha <sup>-1</sup>	Fazenda Muquém				
0	20,4	58,8	500	240	270
3	21,3	54,9	470	240	290
6	19,8	60,7	500	240	250
9	19,3	60,2	480	230	290
12	22,0	52,8	470	250	280
15	20,8	57,3	490	240	280
Efeito	NS	NS	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
C.V.%	14,7	10,9	-	-	-
Calcário Mg ha <sup>-1</sup>	Fazenda Ingaí				
0	16,0	59,5	410	430	160
3	13,8	66,4	430	420	150
6	13,8	64,4	410	440	150
9	13,9	64,9	420	420	160
12	13,8	64,9	420	430	160
15	14,4	63,6	430	420	150
Efeito	NS	NS	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
C.V.%	13,0	8,5	-	-	-

L e Q: efeitos linear e quadrático por análise de regressão; ns: não-significativo; respectivamente; \* significativo a 5%.

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 15 e Figura 16 são apresentadas as análises de componentes principais (ACP), onde foi possível representar 16 variáveis avaliadas em duas componentes, APC1 e

APC2. Sendo assim, observou-se de maneira conjunta as variáveis que mais influenciaram na produtividade das culturas e as que melhor representaram os tratamentos.

As fazendas Santa Helena e Muquém apresentaram as maiores produtividades em função dos maiores valores de V% e pH, assim como os maiores teores de Ca e Mg, os quais estão no mesmo quadrante opostos ao vetor de H+Al (Figura 15). Observa-se que com o aumento das doses de calcário a elipse da Fazenda Ingá é deslocada no sentido do vetor de produtividade, demonstrando que a calagem promoveu melhoria dos atributos químicos do solo.

Nota-se que na camada de 0,2-0,4 m (FIGURA 16) os resultados são semelhantes aos observados na camada de 0,0 – 0,2 m, comprovando que a incorporação de calcário em profundidade promove melhoria nos atributos químicos do solo.

É importante ressaltar que a DMG e DMP estão correlacionadas com T e MO, as quais estão opostas ao vetor de ADA. Isso demonstra que a variação das doses de calcário utilizadas no tempo avaliado não gerou impacto negativo a ADA, I F, DMP e DMG. As variáveis estudadas tem forte correlação com a suscetibilidade à erosão. Sendo assim, até a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup> não há aumento do risco de erosão pela dispersão de argila, fato este atribuído à incorporação do calcário, que teve seu efeito diluído ao longo do perfil do solo. Além disso, a calagem promoveu aumento nos teores de cátions básicos e redução da acidez, estimulando o desenvolvimento radicular das plantas, o qual auxilia na melhor agregação do solo (CAIRES et al., 2001). Outro fator que deve ser considerado é o alto poder tamponante dos Latossolos (SOUSA et al., 2007), os quais mantêm cargas no solo que promovem sua agregação (DUFRANC et al., 2004).

Figura 15 - Análise de componentes principais dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 0,0m a 0,2 m

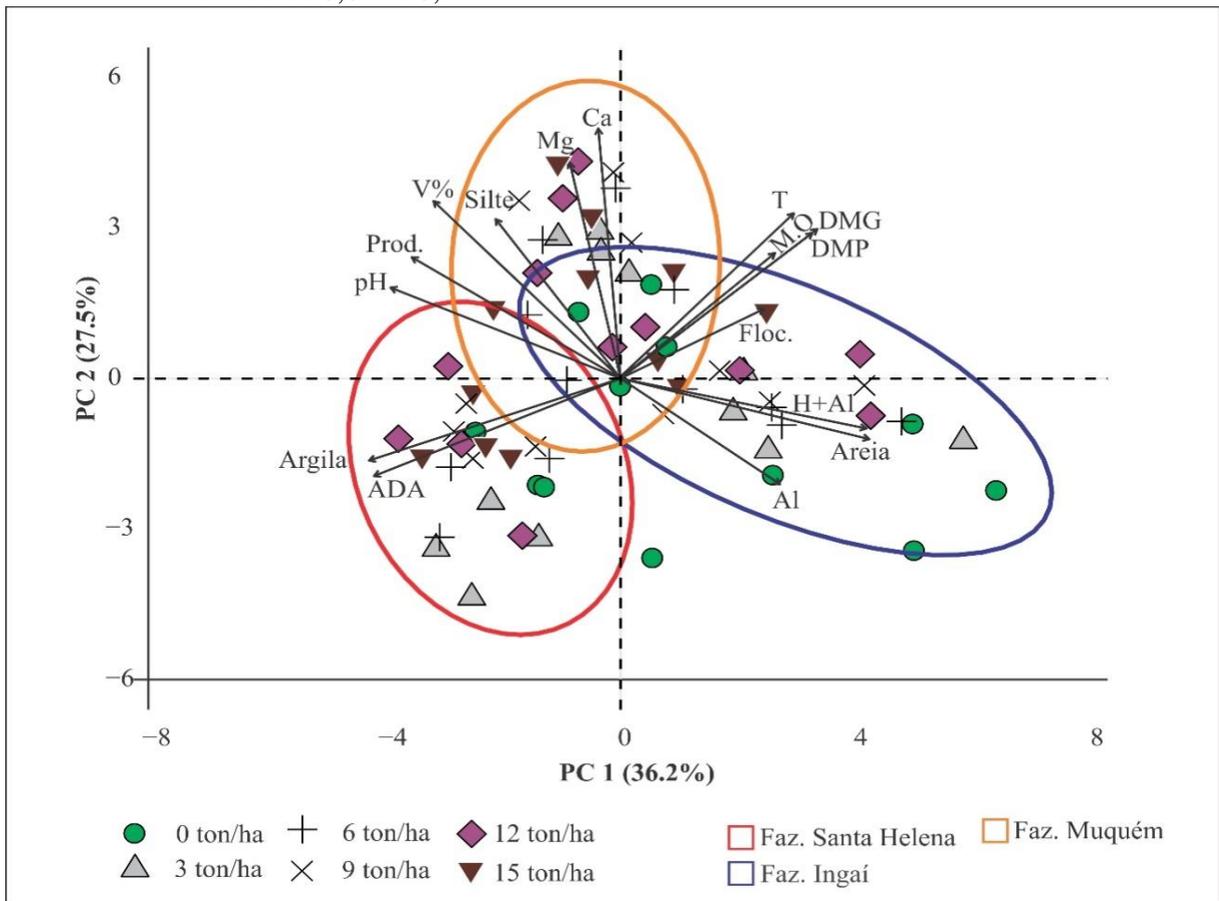
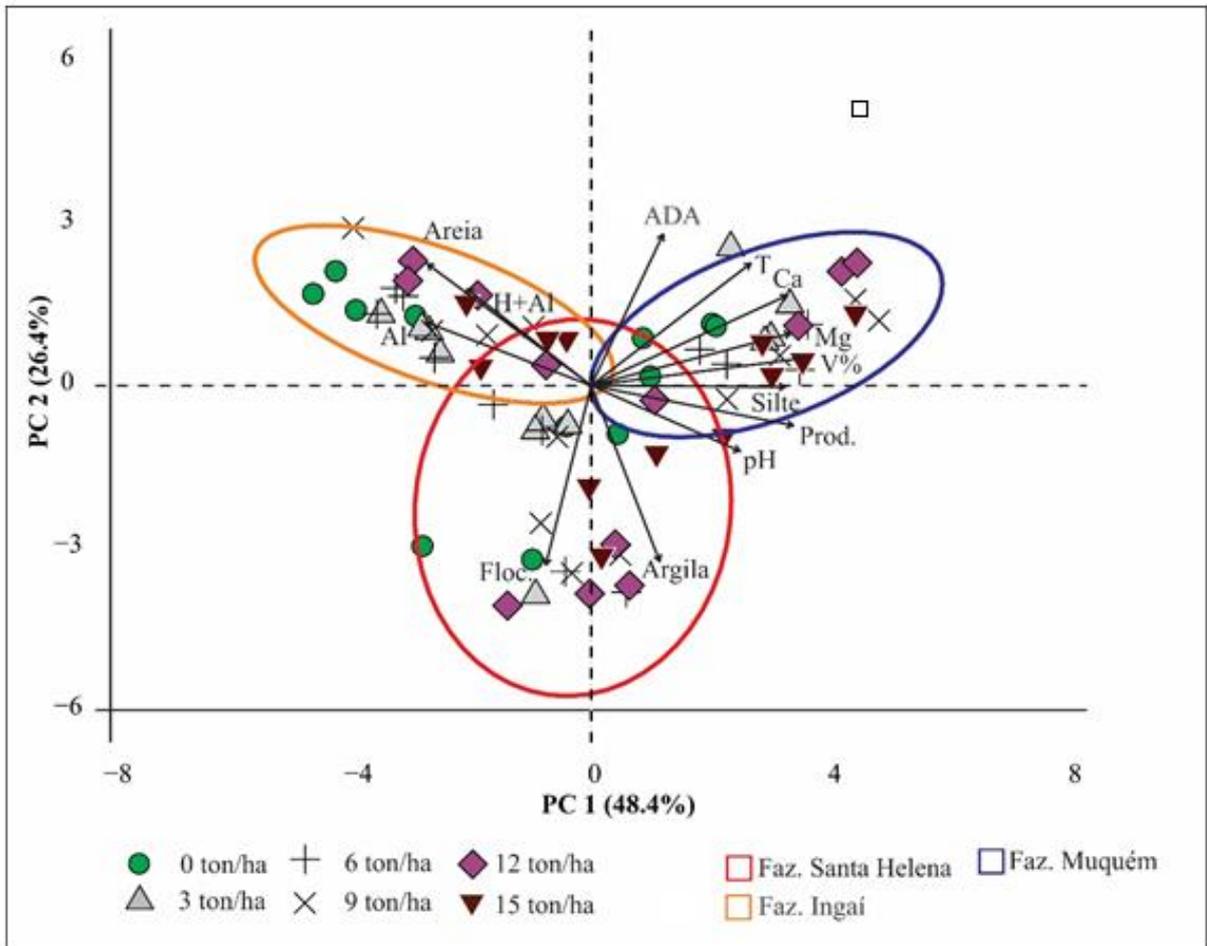


Figura 16 - Análise de componentes principais dos atributos físicos e químicos do solo na camada de 0,20 m a 0,40 m



Fonte: Do autor (2019).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No experimento de incubação, os resultados observados dos atributos químicos dos solos, foram semelhantes aos obtidos no experimento de campo.

No experimento de campo, a incorporação de calcário no solo até 0,4 m aumentou os teores de Ca e Mg e os valores de V% e pH, ao longo da camada avaliada, em todas as áreas do estudo. Os teores de H+Al reduziram em todas as áreas, melhorando as condições químicas para o crescimento radicular.

As doses de calcário influenciaram nas concentrações de macro e micronutrientes nas folhas de soja e feijão. No entanto, os valores permaneceram dentro dos limites considerados adequados.

Houve incremento de 24, 21 e 18% nas produtividades das culturas de soja e feijão, nas Fazendas Santa Helena, Muquém e Ingaí, com as doses de 9,4, 15 e 7,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.

Não foi observado efeito negativo das doses de calcário sobre os atributos físicos do solo. Sendo assim, até a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup> não houve aumento a suscetibilidade a erosão.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G.C.G. **Fertilidade do solo**: Micronutrientes. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 10, p. 1017, 2007.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799-806, 2003.
- ALVAREZ, V.V.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 359.
- ALVAREZ, V.V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solo In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 359.
- ALVAREZ, V.V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 359.
- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992.
- ARAÚJO, S.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; GARBUIO, F.J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: Alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1755-1764, 2009.
- AZEVEDO, A.C.D.; SILVEIRA, B.A. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, 2004.
- AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 131, n. 1, p. 28-35, 2013.
- BARBOSA FILHO, M.P.; DA SILVA, O.F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.
- BASTA, N.T.; TABATABAI, M.A. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. **Soil Science**, v. 153, n. 3, p. 195-204, 1992.

BIELDERS, C.L.; GRYMOPREZ, B. Raindrop impact: a neglected but potentially major contributor to particle mobilization in soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 74, n. 5, p. 1446-1456, 2010.

BORKERT, C. M. Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, Jaboticabal, 1988. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, p. 173-193, 1991.

BORTOLUZZI, E.C.; GARBOZZA, L.; GUARESCHI, C.; RHEINHEIMER, D. dos S. Efeito da calagem na relação entre solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2621-2628, 2008.

BORTOLUZZI, E.C.; POLETO, C.; BAGINSKI, A.J.; SILVA, V.R.D. Aggregation of subtropical soil under liming: a study using laser diffraction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 725-734, 2010.

BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2012.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; QUADROS NETO, C.; FERREIRA, A.O.; CANALLI, L.; SANTOS, J.B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v. 170, n. 1, p. 80-88, 2012.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, v. 59, n. 2, 2000.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 791-798, 2005.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.

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

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **IPNI-International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba-SP, n. 154, p. 17-21, 2016.

CAIRES, E.F.; PEREIRA FILHO, P.R.S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I.C. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 302-309, 2008.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of American Journal**, v. 55, n. 5, p.1407- 1413, 1991.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P. Effect of lime (CaCO<sub>3</sub>) application on soil structural stability of a red earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, n. 1, p. 73-86, 1998.

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1841-1844, 1999.

CHUEIRI, W.A.; PAJARA, F.; BOZZA, D. **Importância da inoculação e nodulação na cultura da soja**. Manah: Divulgação técnica, v. 169, 2005.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 281-284, 2004.

CQFS. Comissão de Química e Fertilidade do Solo–RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 401 p.

CRUSCIOL, C.A.; ARTIGIANI, A.C.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A.C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A.S.; ALVAREZ, R.C. Soilfertility, plantnutrition, andgrainyieldofupland rice affectedby surface applicationof lime, silicate, andphosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 87-99, 2016.

DANTAS, J.D.N.; DANTAS, J.D.N.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; ASSIS, C.P. Qualidade do solo sob diferentes usos e manejos no perímetro irrigado de Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 18-26, 2012.

DAVIS-CARTER, J.G.; SHUMAN, L.M. Influence of texture and pH of kaolinitic soils on zinc fractions and zinc uptake by peanuts. **Soil Science**, v. 155, n. 6, p. 376-384, 1993.

DE BRITO BURITI, B.M.A.; PEREIRA, I.D.S.; DA SILVA, V.C.; DE MELO CARTAXO, J.; DE ARAÚJO NEVES, G. Influência do Silicato de Sódio na purificação 17 de Argila Bentonítica por tratamento de hidrociclonagem. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 1, n. 2, 2017.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1419–1424, 2001a.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 416–424, 2001b.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, n. 77, p. 185-268, 2002.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 73-78, 2004.

FOLONI, J.S.S.; SANTOS, D.H.; CRESTE, J.E.; SALVADOR, J.P. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. **Colloq. Agrar**, v. 4, p. 27-35, 2008.

FONSECA, A.F.; CAIRES, E.F.; BARTH, G. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. **Scientia Agrícola**, n. 67, p. 60–70, 2010.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina DF: Embrapa Cerrados, p. 185-226, 2002.

GARBUIO, F.J. **Atributos químicos e biológicos do solo, nutrição e produção de grãos de soja influenciados pela calagem e pela cobertura de aveia preta em sistema plantio direto**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2009.

GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C.; SOARES, W. Effect of Depth of Lime Incorporation on the Growth of Corn on an Oxisol of Central Brazil 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 6, p. 1155-1158, 1979.

GRIÈVE, I.C.; DAVIDSON, D.A.; BRUNEAU, P.M.C. Effects of liming on void space and aggregation in an upland grassland soil. **Geoderma**, v.125, p.39-48, 2005.

GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. **Bragantia**, v. 19, n. 13, p. 201-13, 1960.

GUPTA, U.C.; KENING, W.; SIYUAN, L. Micronutrients in soil, crops, and livestock. **Earth Science Frontiers**, v. 15, n. 5, p. 110-125, 2008.

HAYNES, R.J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 2, p. 123-137, 1998.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Fatores ambientais que afetam a fixação de N<sub>2</sub> em leguminosas de grão nos trópicos, com ênfase no Brasil. **Pesquisa em culturas de campo**, v. 65, n. 2-3, p. 151-164, 2000.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. 2014. 9., **Anais...** Mato Grosso do Sul, p. 358-381, 2014.

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

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Revista Geonomos**, v. 5, n. 1, 1997.

KOSTENKO, I.V. Composition of exchangeable bases and acidity in soils of the Crimean Mountains. **Eurasian soil science**, v. 48, n. 8, p. 812-822, 2015.

LEBLANC, M.A.; PARENT, E.; PARENT, L. E. Lime requirement using Mehlich-III extraction and infrared-inferred cation exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 2, p. 490-501, 2016.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. p. 216.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 319.

MOREIRA, S.G.; MACEDO, J.R. O manejo preciso da adubação fosfatada. **A granja**, p. 32-34, 2018.

MOREIRA, S.G.; MORAES, F.A. Construção da Fertilidade do Solo para o Sistema de Produção de Culturas Anuais. In: PAES, M.C.; VON PINHO; R.G. MOREIRA, S.G. (Org.). Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil. 21. ed. Sete Lagoas: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2018. 4.; **Anais...** v. 32, p. 347-383, 2018.

MOREIRA, S.G.; OLIVEIRA, D.P.; SILVA, C.A.; MENEZES, M.D.; SILVA, D.R.G.; BOTREL, E.P.; LOPES, A.S.; ANDRADE, M.J.B. **Cultivo de Feijão em Sistema de Plantio Direto no Cerrado**. Belo Horizonte: Informe Agropecuário. v. 39, p. 77-87, 2018.

MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.D.C.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. 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, 2001.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.D.C.; MARTIN NETO, L.; PAULETTI, V. Chemical forms in soils and bioavailability of manganese to soy bean under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 121-136, 2006.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J. de C.; PAULETTI, V.; MARTIN NETO, L. Chemical forms in soil and availability of manganese and zinc to soybean in soil under different tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 163, p. 41-53, 2016.

- MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V.; SILVA, B.M.; KIEHL, J.C.; SILVA, C.G.M. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 39, p. 89, 2017.
- MOTSCHENBACHER, J.M.; BRYE, K.R.; ANDERS, M.M.; GBUR, E.E. Long-term rice rotation, tillage, and fertility effects on near-surface chemical properties in a silt-loam soil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 100, n. 1, p. 77-94, 2014.
- NASCIMENTO, C.W.A.; OLIVEIRA, A.B.; RIBEIRO, M.R.; MELO, E.E.C. Distribution and availability of zinc and copper in benchmark soils of Pernambuco State, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 37, p. 109-125, 2006.
- NOVAES, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; SEDIYAMA, T. Deficiências de manganês em plantas de soja cultivadas em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n. 2, p.1 99-204, 1989.
- NOVAIS, R.F. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3 ed. Piracicaba: FEALQ, 2008. 592 p.
- PEGORARO, R.F.; SILVA, I.D.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.D.S.; GEBRIM, F.D.O.; MOREIRA, F.F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 859-868, 2006.
- PEREIRA, N.M.Z.; ERNANI, P.R.; SAGOI, L. Disponibilidade de zinco para o milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, n. 3, p. 273-284, 2007.
- PROCHNOW, L.I.; DE RESENDE, A.V.; OLIVEIRA JUNIOR, A.D.; FRANCISCO, E., CASARIN, V.; PAVINATO, P. Localização do fósforo em culturas anuais na agricultura nacional: situação importante, complexa e polêmica. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.
- PRODROMU, K.P. Boron adsorption by amorphous Al (OH)<sub>3</sub> in the presence of low molecular weight organic acids. **Agrochimica**, v.48, p.172-176, 2004.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. Determinação do pH em cloreto de cálcio e de acidez total. In: RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. Cap. 10, p. 181 – 188.

QUAGGIO, J. A.; SILVA, N. M.; BERTON, R. S. Culturas oleaginosas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, Jaboticabal, 1988. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, p. 462-484, 1991.

RAIJ, B.V. **Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície.** International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, 2011a. p. 8-18.

\_\_\_\_\_. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes.** International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, 2011b. p. 420.

\_\_\_\_\_. **Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo: Propriedades Eletroquímicas de Solos.** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 9-39.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC & Fundação IAC, 1997. p. 285, 1997.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.D.F.; SANTOS, J.D.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Lavras: UFLA, 2012. p. 522, 2012.

RHOTON, F.E.; DUIKER, S.W. Erodibility of a soil drainage sequence in the loess uplands of Mississippi. **Catena**, v. 75, p.164-171, 2008.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 700-709, 2000.

RESENDE, A.V.; FONTOURA, S.M.V.; BORGHI, E.; DOS SANTOS, F.C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S.G.; BORIN, A.L.D.C. **Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo.** Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2016.

RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 36, p. 143-149, 2001.

ROSOLEM, C.A.; BÍSCARO, T. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1473-1478, 2007.

ROTH, C.; PAVAN, M. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v. 48, n. 3-4, p. 351-361, 1991.

RUFINI, M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B.L.; OLIVEIRA, D. P.; DE ANDRADE, M. J. B.; DE SOUZA MOREIRA, F. M. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 81-88, 2011.

SANDERS, J.R. The effect of pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc and cobalt in soil solution. **Journal of Soil Science**, 34:315-323, 1983.

SANTIAGO, A.; QUINTERO, J.M.; DELGADO, A. Longterm effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in Spanish Vertisol. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 2, p. 100-107, 2008.

SANZONOWICZ, C. Deficiência de manganês em solos do cerrado. **Potafos**, p. 7, 1995. (POTAFOS: Informações Agronômicas, 71).

SETA, A.K.; KARATHANANASIS, A.D. Stability and transportability of water-dispersible soil colloids. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 2, p. 604-611, 1997.

SETA, A.K.; KARATHANANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. **Geoderma**, v. 74, n. 3-4, p. 255-266, 1996.

SHOEMAKER, H.E.; MCLEAN, E.O.; PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, n. 25, p. 274-276, 1961.

SHUMAN, L.M. Efeito da calagem na distribuição de manganês, cobre, ferro e zinco entre as frações do solo. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1236-1240, 1986.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília**, v. 32, n.2, p.213-220, 1997.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária, 1999. p. 370.

SILVA, I.R. da; MENDONÇA, E. de. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 6, p. 275-357, 2007.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, Cap. 5 p. 205-274, 2007.

SOUSA, D.M.G de.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUZA, E.C A.; ROSOLEM, C.A.; COUTINHO, E.L.M. Sunflower response to boron as affected by liming. In: **Boron in soils and plants**. Springer, Dordrecht, p. 23-27, 1997.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. **Soja: Nutrição, Correção do Solo e Adubação**. Campinas-SP: Fundação Cargill, 1992. p. 60. (Fundação Cargill. Série Técnica, 7).

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Manganese deficiency in soybean induced by excess lime. **Better Crops International**, v.9, n.2, p.7, 1993.

TEIXEIRA, I.R.; SOUZA, C.M.; BORÉM, A.; SILVA, G.F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

THOMAS, G.A., DALAL, R.C.; STANDLEY, J. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in Luvisol in semi-arid subtropics. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 295-304, 2007.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Livraria e Editora Agropecuária, 1997. p. 247.

VERONESE, M. **Acidez do solo e produtividade da soja em função de calagem e rotação de culturas**. 2011. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade de soja. *Informações Agronômicas*. Piracicaba, **Potafós**, p. 16, 2000. (Encarte Técnico, 90).

VUKASINOVIC, I.Z.; TODOROVIC, D.J.; DORDEVIC, A.R.; RAJKOVIC, M.B. Depth distribution of available micronutrients in cultivated soil. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 60, n.2, p. 177-187, 2015.

ZANCANARO, L.; ONO, F.B.; KAPPES, C.; VALENDORFF, J.D.P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; SEMLER, T. D.; VIDOTTI, M. V. **Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície**. Fundação MT. Boletim de pesquisa, Rondonópolis (Fundação MT. Boletim, 18), 2018. p. 82.

ZANCANARO, L. **Reatividade de partículas de calcário e influência das composições granulométricas na neutralização da acidez do solo**. Porto Alegre: UFRGS, 1996.