



**JUNIOR CÉZAR RESENDE SILVA**

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA  
CALAGEM**

**LAVRAS – MG**

**2019**

**JUNIOR CÉZAR RESENDE SILVA**

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA  
CALAGEM**

Monografia apresentada à Universidade Federal  
de Lavras, como parte das exigências do Curso de  
Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Ms. Flávio Araújo de Moraes

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).

Silva, Junior César Resende.

Disponibilidade de micronutrientes e produtividade da cultura  
da soja em função da calagem / Junior César Resende Silva. - 2019.  
23 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Flávio Araújo de Moraes.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras,  
2019.

Bibliografia.

1. Glycine max L. 2. Calcário. 3. Acidez do solo. I. Moreira,  
Silvino Guimarães. II. de Moraes, Flávio Araújo. III. Título.

**JUNIOR CÉZAR RESENDE SILVA**

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E  
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA  
CALAGEM**

Monografia apresentada à Universidade Federal  
de Lavras, como parte das exigências do Curso de  
Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 05 de junho de 2019.

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel UFLA

Ms. Júlia Rodrigues Macedo UFLA

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Ms. Flávio Araújo de Moraes

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

## RESUMO

A aplicação da dose correta de calcário é uma das formas mais eficientes de se aumentar a produtividade das culturas. A subdose não é suficiente para corrigir a acidez do solo, neutralizar  $Al^{3+}$  e disponibilizar  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . Doses em excesso podem causar efeito negativo na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar a influência de diferentes doses de calcário na produtividade e disponibilidade de micronutrientes para a cultura da soja. O experimento foi conduzido na safra 2017/2018, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária (Fazenda Muquém) no município de Lavras - MG, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de seis doses de calcário 0, 3, 6, 9, 12 e 15  $Mg\ ha^{-1}$ , incorporadas a 0,4 m de profundidade, com grade pesada. A aplicação e incorporação do calcário foi feita em setembro de 2017. Foi utilizada a cultivar de soja Monsoy 6410 IPRO, sendo semeada em novembro, com 17,4 sementes por metro. Foram realizadas amostragens de folha e solo, bem como avaliação da produtividade. Foi observado um incremento de 21,0 % na produtividade da soja com a aplicação de 15  $Mg\ ha^{-1}$  calcário em relação a testemunha. De maneira geral, não foi observado efeito negativo nos teores de micronutrientes no solo e na sua concentração nas folhas com o aumento das doses aplicadas.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L., Calcário, Acidez do solo.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	8
2.1 Acidez do solo .....	8
2.2 Disponibilidade de nutrientes no solo e na planta .....	9
2.3 Métodos utilizados para recomendação de calagem.....	10
2.4 Calagem e produtividade das culturas .....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Caracterização da área experimental .....	12
3.2 Delineamento experimental e condução do experimento em campo .....	13
3.3 Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo e folha.....	14
3.4 Análise estatística .....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
4.1 pH .....	15
4.2 Micronutrientes no solo .....	15
4.3 Micronutrientes nas folhas .....	16
4.4 Produtividade .....	18
5 CONCLUSÕES .....	20
6 REFERÊNCIAS .....	21

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de produção de grãos tem se tornado cada vez mais dinâmico, sendo possível realizar até três cultivos por ano em algumas regiões. Para que isso seja possível é preciso construir a fertilidade do solo ao longo do perfil, visando estabelecer valores de nutrientes de níveis médios a altos, pelo menos até a profundidade de 0,4 m, o que permitirá maior resiliência do sistema de produção (MOREIRA; MORAES, 2018; WENDLING et al., 2008).

Dentre os fatores que mais limitam a produtividade das culturas destaca-se a acidez do solo, em função da toxidez causada por  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  e os baixos teores de cátions básicos (CAIRES et al., 2003). Essas características limitam o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas (RAIJ, 2011).

Quando o objetivo é reduzir a acidez do solo, a prática a ser realizada é a calagem. Para isso, utiliza-se o calcário, que é um sal insolúvel e tem seu efeito localizado. Sendo assim, para corrigir a acidez do solo em profundidade é necessário realizar uma boa incorporação deste material, aumentando-se o contato do produto com as partículas do solo (KAMINSKI et al., 2005).

Para que a calagem tenha seu efeito esperado, a dose recomendada deve ser suficiente para elevar o pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) para valores entre 6,0 e 6,5, disponibilizar  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em níveis adequados, os quais segundo Alvarez et al. (1999), estão na faixa 2,5 a 4,0 e 0,9 a 1,5  $\text{cmolc dm}^{-3}$ , respectivamente.

Atualmente, durante a recomendação de calagem, muitos técnicos de campo têm triplicado as doses calculadas pelos métodos oficiais, além de utilizar valores de saturação por base acima de 80. Essas decisões têm sido tomadas com base em observações práticas, sem o respaldo científico. Portanto mais estudos precisam ser realizados, pois baixas doses de calcário não são suficientes para corrigir a acidez do solo e disponibilizar  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , assim como altas doses podem reduzir a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos.

Vários fatores podem influenciar na disponibilidade de nutrientes às plantas, tais como teor de matéria orgânica, potencial redox, temperatura, umidade e atividade de microrganismos (FAGERIA et al., 2002; MOREIRA et al., 2017). A redução da disponibilidade de micronutrientes está associado ao aumento excessivo dos valores de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (GUPTA et al., 2008), e no sistema de produção brasileiro, os casos são associados a aplicação de altas doses de calcário.

Desta forma, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de calcário na disponibilidade de micronutrientes no solo e no tecido foliar, bem como a influência na

produtividade da cultura da soja cultivada sob um Latossolo Vermelho-Amarelo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Acidez do solo

Os solos podem ser naturalmente ácidos pela constituição do material de origem, como ocorre nos solos de Cerrado, onde se tem um baixo teor de cátions básicos (FAGERIA; GHEYI, 1999). De acordo com Raij (2011), as cargas positivas desses cátions são trocadas por  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ , para continuidade da eletroneutralidade. Além disso, as altas retiradas de cátions básicos devido aos sucessivos cultivos agrícolas, bem como as adubações minerais, principalmente as de fontes amoniacais, possuem papel de destaque na acidificação desses solos (SOUSA et al., 2007).

A acidez do solo pode ser entendida de duas formas, a acidez potencial, dividida em acidez trocável e acidez não trocável, e a acidez ativa. Essa última é denominada pela parte do hidrogênio que está na solução do solo na forma de  $\text{H}^+$ , sendo representada pelos valores de pH. Por sua vez a acidez trocável é atribuída aos íons  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$ , que através de forças eletrostáticas ficam ligados na superfície dos coloides. A acidez não trocável, por sua vez, é determinada pelo hidrogênio ligado covalentemente, sendo a acidez potencial representada pela acidez trocável somada à acidez não trocável no solo (LOPES, 1991).

Arelado à toxicidade do  $\text{Al}^{3+}$  e aos altos valores de acidez, estes solos apresentam baixas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , reduzindo o potencial produtivo das culturas, devido ao impedimento do crescimento e penetração das raízes no solo (FAGERIA, 2001), prejudicando absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Para reduzir os prejuízos causados pela acidez do solo, antes do estabelecimento de uma lavoura é fundamental realizar a calagem, visando a correção da camada de 0,0 a 0,4 m (MIRANDA et al., 2005). A aplicação de calcário é uma das práticas mais comuns e efetivas para aumentar a produção agrícola em solos ácidos. Isso porque além de elevar o pH e neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ , quando em níveis tóxicos, aumenta os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e os valores da V% (FAGERIA, 2001).

De acordo com Rangel et al. (2009), a calagem causa alterações nos valores de pH, nos teores de Ca, Mg e Al, tendo consequências diretas no aumento da atividade biológica e na maior eficiência dos fertilizantes. Além disso, a correção destes solos tem como consequência o aumento das cargas dependentes de pH, resultando na elevação da CTCt, maior disponibilidade do fósforo e estímulo para o desenvolvimento do sistema radicular em

profundidade. No entanto, algumas características, como dose, granulometria, reatividade do corretivo, poder tampão do solo e precipitação, podem influenciar na eficiência do calcário e na correção da acidez do solo (GONÇALVES et al., 2011, MELLO et al., 2003, MIRANDA et al., 2005).

## **2.2 Disponibilidade de micronutrientes no solo e na planta**

Sabe-se que doses baixas e/ou elevadas de calcário podem causar grandes problemas na disponibilidade de todos os nutrientes, reduzindo a produtividade das culturas. Doses excessivas de calcário podem elevar o pH a valores iguais ou acima de 7, podendo provocar deficiências de nutrientes como P, Zn, B e Mn (FOLONI et al., 2008).

A elevação do pH, como citada anteriormente, reduz a disponibilidade dos micronutrientes metálicos, por terem sua solubilidade reduzida na solução do solo, deixando-os menos disponíveis às plantas (RHOTON, 2000). Segundo Barber (1995), quando os valores de pH estão próximos a 7, há formação de compostos de baixa solubilidade e redução da concentração de micronutrientes catiônicos na solução do solo, proporcionando um decréscimo do seu fluxo difusivo.

Diversos fatores podem influenciar na quantidade de B adsorvidos no solo, como por exemplo: concentração da solução em equilíbrio, textura do solo, pH, teor de matéria orgânica (MO) e composição mineralógica do solo, entre outros (ELRASHIDI; O'CONNOR, 1982; GOLDBERG; GLAUBIG, 1985; KEREN et al., 1985; YERMIYAHU et al., 1995). De acordo com Evans (1987), em pH na faixa alcalina ocorre uma expressiva adsorção do B pelos óxidos e MO, alcançando a máxima adsorção a pH 9,0.

Algumas características dos solos podem resultar na redução da disponibilidade de Zn, tais como: pH em valores próximos a 7,0 (FORNES et al., 2009; LINDSAY, 1991), solos que possuem características argilosa, ou seja, com mais de 35% de argila (SHUKLA; MITTAL, 1979); P elevado (BARROW, 1987; ALLOWAY, 1990); altos teores de MO (MANDAL; MANDAL, 1987; STEVENSON, 1991; UREN, 1992) e também de óxidos de Fe, Al e Mn (McBRIDE, 1989; STAHL; JAMES, 1991), além do seu potencial redox (GAO et al., 2010).

Em experimento utilizando-se doses crescentes de calcário em superfície de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilo-arenosa nas culturas de milho e soja, Caires et al. (2006) verificaram que houve redução dos teores de Zn e Mn nas folhas de soja, mas não houve decréscimo na produtividade da cultura. Fonseca et al. (2010) ao analisarem folhas de trigo constataram que maiores doses de calcário levam a redução na concentração de Mn, no

entanto, não afetam as concentrações de Cu, Fe e Zn nas folhas. Já Soratto e Crusciol (2008), em experimento com aveia preta cultivada sob SPD em um Latossolo Vermelho, submetido a altas doses de calcário, mostraram que houve decréscimo na absorção de Mn, Fe e Zn.

De maneira geral, é possível observar a necessidade de novos estudos que correlacionem a aplicação de calcário com a disponibilidade de micronutrientes para as culturas produtoras de grãos, visando estabelecer um equilíbrio entre a correção do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

### **2.3 Métodos utilizados para recomendação de calagem**

Dentre os métodos utilizados para cálculo da necessidade de calagem no Brasil central, destaca-se o Método da Saturação por Bases (Método de São Paulo) e o Método da Neutralização do Alumínio Tóxico e Elevação dos Teores de Ca e Mg (Método de Minas). Esse último considera a quantidade de calcário necessária para neutralizar a acidez trocável, somada com a quantidade para elevar os teores de Ca e Mg, considerados adequados para cada uma das culturas (MARTINEZ et al., 1999). Indiretamente, considera o poder de tamponamento dos solos, por considerar que solos mais argilosos apresentam maior necessidade de calcário do que os mais arenosos.

Por sua vez, o método da saturação por bases, chamado de “Método de São Paulo” considera a quantidade de calcário necessária para se elevar a V% a valores adequados para cada uma das culturas, sendo 70 para soja, feijão, milho e trigo (RAIJ et al., 1996). O conceito de V% está relacionado ao fornecimento de bases (Ca, Mg, K) em níveis ótimos para o desenvolvimento de plantas, visando à produção máxima das culturas (FAGERIA, 2001).

As recomendações da calagem pelos métodos oficiais (Método de Minas ou Saturação por Bases) não tem sido efetivas na correção da acidez do solo e elevação da V%. Sendo assim, já é possível encontrar na literatura alguns trabalhos que apontam para maior necessidade de calcário em algumas áreas. Fageria (2001) observou que, para atingir V% de 56 e 66, foram necessárias, respectivamente, 16 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, em um Latossolo Vermelho com 33% de argila e V% inicial de 31.

Em outro estudo, sob condições de Cerrado, Fageria e Stone (2004) observaram a necessidade de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário para atingir a V% de 72 e 41 nas camadas de 0,0 a 0,1 m e de 0,1 a 0,2 m, respectivamente em um Latossolo Vermelho com 37% de argila, V% inicial de 36.

## 2.4 Calagem e produtividade das culturas

A aplicação de calcário interfere diretamente no desenvolvimento das culturas, pois está intimamente ligado às melhorias dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, possibilitando condições favoráveis ao seu crescimento e desenvolvimento radicular (CRAVO, SMYTH; BRASIL., 2012).

Natale et al. (2007) observaram que com o aumento das doses de calcário, houve redução da acidez potencial, aumento dos valores de pH e teores de Ca e Mg. Além disso, foi contabilizado um incremento na produtividade de frutos de goiaba de 30% na dose de 7,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Segundo Raij (2011), para alcançar 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.

Em um estudo desenvolvido por Garbuió (2009), em Latossolo Vermelho, com V% inicial de 9,7, foi observado um incremento de 15% na produtividade da soja, quando aplicado 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. 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. 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>.

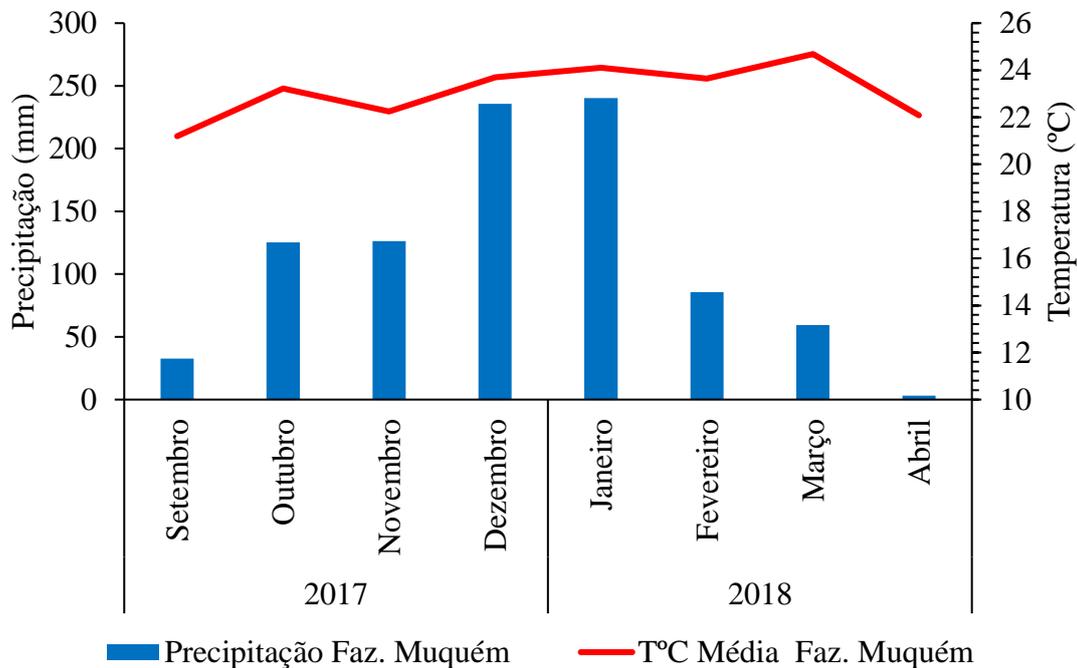
É possível observar que a recomendação de calagem pelos métodos oficiais não tem possibilitado aumento significativo de produtividade. Desta forma, é fundamental realizar novos estudos que visem a correção do perfil do solo, tendo como objetivo o aumento de produtividade das culturas produtoras de grãos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no município de Lavras - MG, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária - Fazenda Muquém, situada à latitude de 21°14'S, longitude 45°00'W e altitude de 918 m, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013). Na figura 1 são apresentadas as precipitações pluviométricas e as temperaturas médias mensais registradas durante o cultivo.

Figura 1 - Precipitações pluviométricas e temperaturas médias mensais ocorridas durante o período do experimento.



Fonte: Rede do INMET.

Antes da instalação do experimento, o solo havia sido cultivado com milho, mas com pouca utilização de fertilizantes e corretivos. As características químicas do solo antes da instalação do experimento podem ser visualizadas na Tabela 1, e análise textural, na Tabela 2. As características do calcário que foi utilizado podem ser visualizadas na Tabela 3. Do período de instalação do experimento (aplicação de calcário) até a semeadura da soja choveu 284 mm. Durante o ciclo da cultura de 138 dias, houve um acumulado de chuvas de 654 mm.

Tabela 1 – Propriedades químicas do Latossolo Vermelho Amarelo, em diferentes profundidades, antes da instalação do experimento.

Prof.	pH	P <sup>1</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	T	V	MO	B <sup>2</sup>	Cu <sup>1</sup>	Fe <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>
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>					
0,0-0,2	5,1	3,4	0,3	3,7	0,9	4,2	9,1	54	33	0,10	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	-	-	-	-	-	-

<sup>1</sup> Mehlich 1, <sup>2</sup> água quente.

Fonte: Do autor (2019)

Tabela 2 - Conteúdo de areia, silte e argila total do Latossolo Vermelho Amarelo em diferentes profundidades.

Prof.	Areia	Silte	Argila	Classificação textural
m	g kg <sup>-1</sup>			
0,0-0,2	235	303	462	Argilosa
0,2-0,4	239	277	485	Argilosa

Fonte: Do autor (2019)

Tabela 3 - Análise química do calcário utilizado para a realização do experimento.

RE	PN	PRNT	CaO	MgO
%				
86,2	96,5	83,2	44,3	13,7

Fonte: Do autor (2019)

### 3.2 Delineamento experimental e condução do experimento em campo

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da aplicação de seis doses de calcário (0, 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo posteriormente incorporado com duas passadas de grade pesada (discos de 32 polegadas), e em seguida duas passadas de grade niveladora (discos de 20 polegadas). As dimensões de cada parcela foram de 10,5 m x 30 m, totalizando-se em uma área de 315 m<sup>2</sup> por parcela. Cada parcela foi composta de aproximadamente 18 linhas de soja, espaçadas de 0,6 m.

O experimento foi implantado no dia 14/09/2017, com a aplicação das diferentes doses de calcário utilizando o equipamento Bruttus, a semeadura da soja foi realizada no dia 25/11/2017 com a cultivar M6410 IPRO sendo aplicado juntamente no sulco 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 02-30-30. A semeadura foi realizada de forma mecânica, com o espaçamento de 0,6 m entre linhas, regulada para distribuir 17,4 sementes por metro, totalizando uma

população de 280.000 sementes por hectare.

Após a aplicação do calcário, todas as operações foram realizadas de acordo com o manejo padrão da fazenda, como escolha da cultivar, adubação, controle de pragas, plantas daninhas e doenças.

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

A coleta de folhas foi realizada no mês de janeiro, de acordo com o método descrito por Raij et al. (1997). Coletou-se o terceiro trifólio, com pecíolo, a partir do ápice das plantas no início do florescimento (estádio R1 a R2). Em seguida, as amostras de folha foram colocadas para secar em estufa a 65°C até atingir massa constante e moídas posteriormente.

Nos resultados das análises de folha foram determinadas as concentrações de Mn, Zn, B, Cu e Fe, conforme o procedimento proposto por Malavolta et al. (1997). Na preparação dos extratos, foi utilizado digestão nitro-perclórica para Cu, Fe, Mn, Zn. Para o B, foi utilizada digestão por via seca.

O solo foi amostrado no final do mês de abril, após a colheita da cultura. A amostragem foi realizada com trado holandês nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, sendo coletado por parcela cinco amostras simples para compor uma amostra composta.

A partir das amostras de solo determinaram-se os valores de pH e os teores de Ca, Mg, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de acordo com a metodologia descrita por Silva (1999). Foram calculados os valores de soma de bases, saturação de bases, capacidade de troca de cátions efetiva e potencial.

### **3.4 Análise estatística**

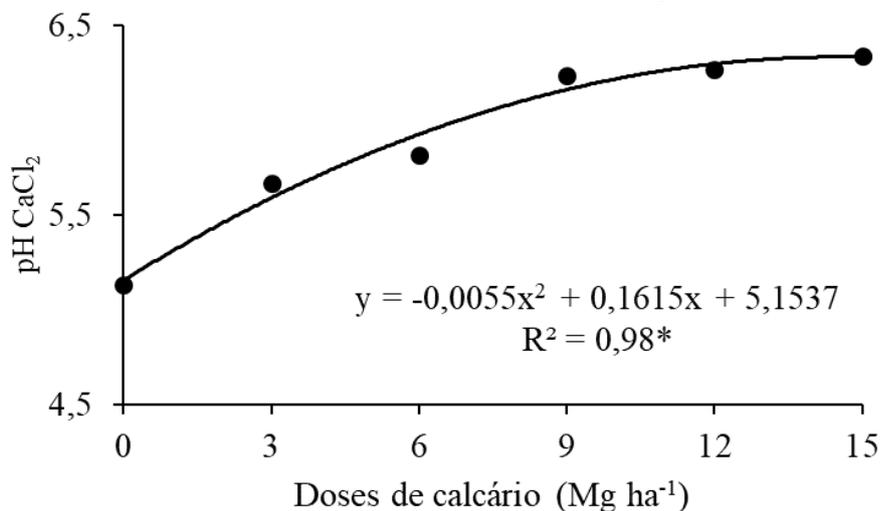
Todos os dados foram submetidos à análise de variância, os resultados significativos para o teste F, foram submetidos à análise de regressão, os procedimentos adotados seguem aos apresentados por Ramalho et al. (2012).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 pH

Observou-se um aumento quadrático dos valores de pH CaCl<sub>2</sub>, em função das doses de calcário (Figura 2). Os valores de pH CaCl<sub>2</sub> não ultrapassaram 6,5, mesmo com a maior dose de calcário. Deve-se ressaltar que normalmente os valores de pH em H<sub>2</sub>O são cerca de 0,6 unidades maior do que o pH em CaCl<sub>2</sub> (TOMÉ JÚNIOR, 1997). De acordo com Tomé Júnior (1997), essa diferença pode chegar a valores próximos de 1, quando os solos são ácidos, no entanto, quando em solos próximos a neutralidade, os valores podem ser equivalentes. Desta forma, é possível observar que os valores de pH ficaram dentro da faixa ideal para as culturas produtoras de grãos (PÖTTKER; BEN, 1998), mesmo com as doses mais elevadas de calcário.

Figura 2 - Efeito de diferentes doses de calcário nos valores de pH do solo.



Fonte: Do autor (2019)

### 4.2 Micronutrientes no solo

O valor de B determinado em todas as doses testadas estavam abaixo de 0,15 mg dm<sup>-3</sup> o que de acordo com Alvarez et al. (1999), se encontram na faixa de teores muito baixos no solo. Verificou-se que quando houve incremento nas doses de calcário, os teores de B no solo foram reduzidos de forma, linear alcançando valores de 0,09 mg dm<sup>-3</sup> e 0,10 mg dm<sup>-3</sup> nas doses 12 Mg ha<sup>-1</sup> e 15 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente (Tabela 4). Os resultados encontrados se assemelham aos observados por Soares et al. (2008), quando, sob incubação, aplicaram carbonato de cálcio e ácido clorídrico para variar o pH na faixa de 4 a 8 em um Latossolo Vermelho Acriférico

(LVwf) argiloso, observaram que houve maior adsorção de B quando se aumentou o valor de pH. Essa redução pode estar relacionada à formação de hidróxidos e óxidos de Fe, Al e Mn através da calagem, os quais podem adsorver grande quantidade de B (GOLDBERG; GLAUBIG, 1985; KEREN; BINGHAM, 1985; GOLDBERG et al., 1993).

Para o Cu foi possível perceber que não houve diferença significativa com o aumento das doses de calcário (Tabela 4), se mantendo na faixa de teores médios (0,18 a 1,2 mg dm<sup>-3</sup>) de acordo com Alvarez et al. (1999).

Tabela 4 - Efeito da calagem nos teores de micronutrientes do solo, na camada de 0,0-0,2 m.

Tratamento	B <sup>1</sup>	Cu <sup>2</sup>	Fe <sup>2</sup>	Mn <sup>2</sup>	Zn <sup>2</sup>
	mg dm <sup>-3</sup>				
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )					
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

L: efeito linear por análise de regressão; NS: não-significativo; \* significativo a 5%.

<sup>1</sup> Mehlich 1, <sup>2</sup> água quente.

O teor de Mn estava acima de 12 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 4), o que indica um valor alto no solo, de acordo com Alvarez et al. (1999). No entanto, não houve modificações nos teores de Mn após a aplicação de diferentes doses de calcário. Em relação ao Fe no solo, este estava dentro da faixa de valores altos (> 45 mg dm<sup>-3</sup>), de acordo com Alvarez et al. (1999). No entanto ocorreu redução de forma linear pela adição das doses de calcário (Tabela 4), mas a disponibilidade não foi afetada, pois com doses acima de 6 Mg ha<sup>-1</sup>, os teores ainda continuaram dentro da faixa de teores adequados.

Por sua vez o valor de Zn no solo, se encontrava na faixa de teores médios (1 a 1,5 mg dm<sup>-3</sup>), de acordo com Alvarez et al. (1999), não tendo seus teores alterados significativamente pelas doses crescentes de calcário (Tabela 4).

### 4.3 Micronutrientes nas folhas

Notou-se que com as aplicações das crescentes doses de calcário a concentração de B

nos tecidos foliares foram reduzidos de forma linear (Tabela 5), atingindo  $31 \text{ mg dm}^{-3}$  na dose  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ . No entanto, as variações nos números absolutos foram pequenas, permanecendo dentro dos valores adequados que segundo Raij et al. (1997), são de 21 a  $55 \text{ mg kg}^{-1}$  para soja. Souza et al. (2010) obtiveram respostas diferentes, ao avaliar as mudanças na absorção de B na cultura da soja em diferentes valores de pH (5,2 a 6,6), em um solo argiloso e um arenoso, não identificando diferenças significativas entre os tratamentos. Soares et al. (2008) ao avaliarem o efeito do pH, em valores variando de 4 a 8, em um Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf) argiloso e um Latossolo Amarelo Ácrico (LAW) textura média percebeu que a adsorção de B aumentou conforme a elevação dos valores de pH.

Tabela 5 - Concentrações de micronutrientes nas folhas de soja em função de doses crescentes de calcário.

Tratamento	B	Cu	Fe	Zn	Mn
		mg/kg			
Calcário ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )					
0	38	7,0	69	36	57
3	37	6,7	76	36	49
6	36	7,2	81	43	48
9	31	6,6	75	36	48
12	32	6,7	74	33	47
15	31	6,8	72	40	42
Efeito	L *	NS	Q *	NS	NS
R <sup>2</sup>	0,91	-	0,73	-	-
C.V. (%)	4,8	5,9	4,7	11,3	21,8

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

Os teores de Cu encontrados nas folhas estavam abaixo do adequado, segundo Raij et al. (1997) ( $10$  a  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e não foram influenciados pelas doses de calcário (Tabela 5). A baixa concentração desse micronutriente nas folhas pode ser associada à disponibilidade do mesmo no solo, considerado médio em todas as parcelas, independente das doses aplicadas. Caires et al. (2006) ao testarem doses crescentes de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilo-arenosa, na cultura da soja, verificaram que não houve diferença entre os tratamentos referente a concentração de Cu nas folhas.

Para as concentrações de Fe nos tecidos foliares foi possível observar que foram influenciadas pelas doses crescentes de calcário, tendo efeito quadrático e obtendo-se maior concentração na dose de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário (Tabela 5). Mesmo com o efeito quadrático, as concentrações ainda permaneceram dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997) ( $50$  a  $350 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Resultado semelhante ao encontrado por Souza et al. (2010) ao testar valores

crecentes de pH (5,2 a 6,6) em um solo argiloso e um arenoso, onde no menor valor obteve maior acúmulo de Fe na matéria seca da parte aérea tanto em um solo arenoso como em um solo argiloso. No presente estudo foi possível notar que com a realização da calagem houve um pequeno aumento na concentração de Fe nas folhas, já no solo os teores foram reduzidos. No entanto, ainda que tenha ocorrido efeito significativo, as diferenças foram pequenas, não afetando a nutrição das plantas.

Foi observado que a calagem em diferentes doses não influenciou as concentrações de Mn nas folhas (Tabela 5), de forma que os valores determinados se encontravam dentro dos limites adequados, segundo Raij et al. (1997), que são de 20 a 100 mg kg<sup>-1</sup>.

As concentrações de Zn também não foram modificadas pelas aplicações das maiores doses de calcário (Tabela 5), permanecendo-se dentro da faixa adequada, de 20 a 50 mg kg<sup>-1</sup> de acordo com Raij et al. (1997), mesmo que os teores encontrados no solo tenham sido classificados como médios. Estes resultados se assemelham aos encontrados por Caires et al. (2006), quando observaram que as diferentes doses de calcário aplicadas na superfície não reduziram as concentrações de Zn nas folhas de milho.

#### **4.4 Produtividade**

Foi observado um efeito linear positivo para produtividade da soja em função do aumento das doses de calcário (Figura 3). Comparando com o controle, houve um incremento de 21% na produtividade da soja, com a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Nessa mesma dose, a saturação por bases (V%) atingida foi de 80 (Figura 4), mostrando a importância de elevar os teores de Ca e Mg. Também houve correlação positiva entre a V% e a produtividade da soja ( $r = 0,43$ ,  $p < 0,05$ ).

Pensando-se na recomendação de calcário, ressalta-se que se tivesse utilizado o método oficial de São Paulo, buscando-se elevar a V% a 70, a recomendação para essa área seria de apenas 1,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, no entanto, de acordo com a curva a dose necessária seria de 3,6 Mg ha<sup>-1</sup>, ou seja, o dobro da dose. Isso mostra a necessidade desses novos estudos. 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 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. Em ambos os trabalhos citados anteriormente, a dose necessária para se elevar a V% a 70, considerada adequada por Raij et al. (1997), seria de

8,5 e 5,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Figura 3 - Produtividade de soja em função das diferentes doses de calcário.

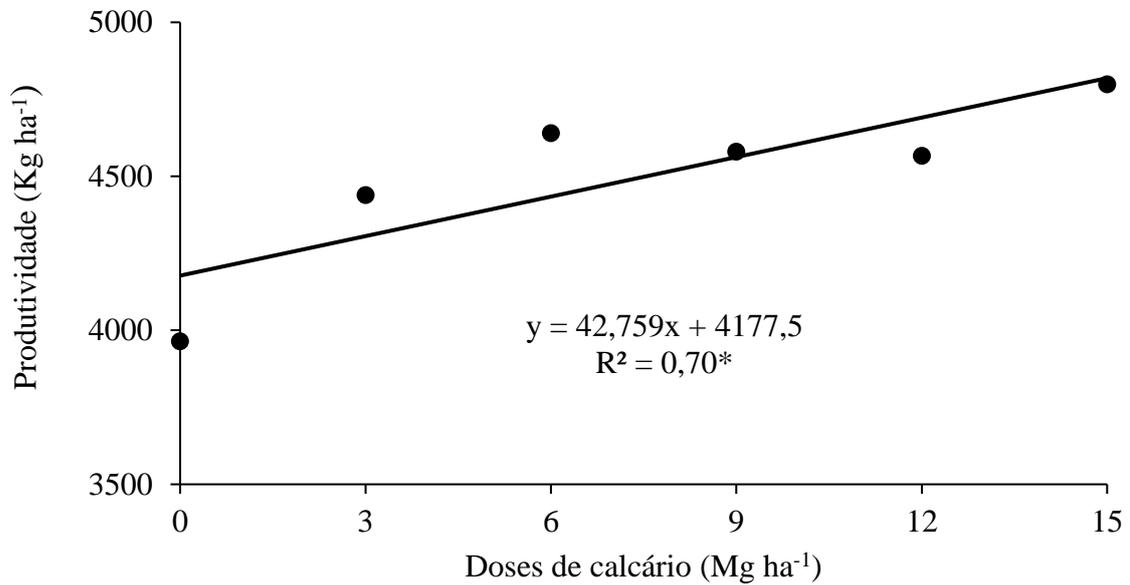
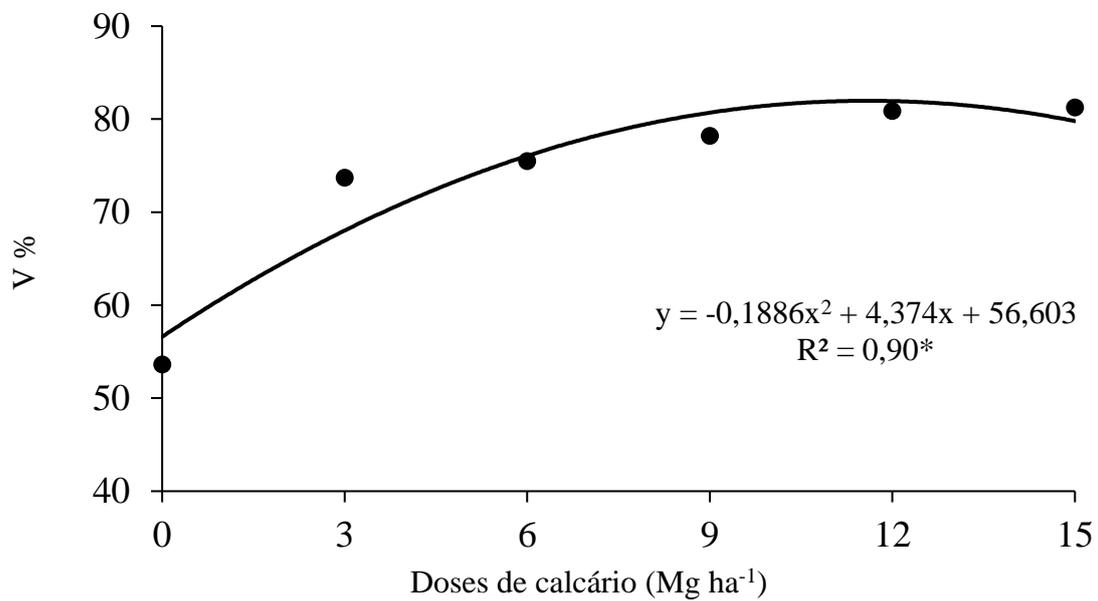


Figura 4 - Efeito da calagem na saturação por bases (camada 0,0 – 0,2 m)



## 5 CONCLUSÕES

Com o aumento das doses de calcário houve uma pequena redução nos teores de B e Fe no solo. Não foi observado efeito significativo para os demais micronutrientes.

Houve redução da concentração de B no tecido foliar com a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup>, mantendo-se dentro dos níveis considerados adequados. Para os demais micronutrientes, não foi observado efeito significativo.

Houve um incremento de 21% na produtividade da soja, com a dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup> quando comparado a testemunha.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B.J. The origins of heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B.J., ed. **Heavy metals in soils**. New York, John Wiley & Sons, 1990. p.29-39.
- 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, p. 359, 1999.
- BARBER, S.A. (1995) **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons., 414p.
- BARROW, N.J. The effects of phosphate on zinc sorption by a soil. **Journal of Soil Science**, v. 38, n. 3, p. 453-459, 1987.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. (2003). 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**, 27(2), 275-286.
- 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.
- CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J.; BRASIL, E.C. (2012). Calagem em Latossolos Amarelo Distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36(3), 895-908.
- ELRASHIDI, M.A.; O'CONNOR, G.A. Boron sorption and desorption in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 1, p. 27-31, 1982.
- SOLOS, Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- EVANS, L.J. Retention of boron by agricultural soils from Ontario. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 67, p. 33-42, 1987.
- 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, 2001.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, n. 77, p. 185-268, 2002.
- FAGERIA, N.K.; 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.
- FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. **Efficient crop production**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999.
- FOLONI, J.S.; SANTOS, D.H.; CERESTE, E.J.; SALVADOR, J.P. Resposta do feijoeiro e fertilidade do solo em função de altas doses de calcário em interação com a gessagem. **Colloquium Agrariae**, v. 4, n. 2, 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 Agricola**, n. 67, p. 60–70, 2010.

FORNES, F.; GARCIA-DE-LA-FUENTE, R.; BELDA, R.M.; ABAD, M. “Alperjo” compost amendment of contaminated calcareous and acidic soils: effects on growth and trace element uptake by Five Brassica species. **Bioresource technology**, v. 100, n. 17, p. 3982-3990, 2009.

GAO, X.; SCHRÖDER, T.; HOFFLAND, E.; ZOU, C.; ZHANG, F.; ZEE, S.E.A.T.M. van. Geochemical modeling of zinc availability for rice. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p. 301-309. 2010.

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. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo, 2009.

GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R.A. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 1374-1379, 1985.

GOLDBERG, S.; FORSTER, H.S.; HEICK, E.L. Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals and soils inferred from ionic strength effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 704-708, 1993.

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

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

KEREN, R.; BINGHAM, F.T. Boron in water, soils, and plants. *Adv. Soil Science*, v. 1, p. 229-276, 1985.

KEREN, R.; BINGHAM, F.T.; RHOADS, J.D. Plant uptake of boron as affected by boron distribution between liquid and solid phases in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 9, p. 297-302, 1985.

LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients. *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Wisconsin, **Soil Science Society of America**, p. 89- 111, 1991.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. Acidez do solo e calagem. ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos). **Boletim técnico**, n. 1, p. 3, 1991.

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**, p. 319, 1997.

MANDAL, L.N.; MANDAL, B. Transformation of zinc fractions in rice soils. **Soil Science**, v. 143, p. 205-212, 1987.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. 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, p. 359, 1999.

McBRIDE, M.B. Surface chemistry of soil minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, **Soil Science Society of America**, p.35-84, 1989.

MELLO, J.C.A.; VILLAS-BOAS, R.L.; LIMA, E.V.; CRUSCIOL, C.A.C.; BÜLL, L.T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo Distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.553-561, 2003.

MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A.; GOMES, A.C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.

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.

NATALE, W.; PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; ROMUALDO, L.M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1.475-1.485, 2007.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, 1998.

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.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, p. 420, 2011.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC & Fundação IAC, p. 285, 1996.

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

RANGEL, A.F.; RAO, I.M.; HORST, W.J. Intracellular distribution and binding state of aluminum in root apices of two common bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes in relation to Altoxicity. **Physiologia Plantarum**, v. 135, n. 2, p.162-173, 2009.

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.

SHUKLA, U.C.; MITTAL, S.B. Characterization of zinc adsorption in some soils of India.

**Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p. 905-908, 1979.

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

SOARES, M.R.; CASAGRANDE, J.C.; FERRACCIÚ ALLEONI, L.R. Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, 2008.

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. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, Cap. 5 p. 205-274, 2007.

SOUZA, L.H.; NOVAIS, R.F.; DE ALBUQUERQUE VILLANI, E.M. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p.1641-1652, 2010.

STAHL, R.S.; JAMES, B.R. Zinc sorption by iron oxides coated sand as a function of pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 1287-1290, 1991.

STEVENSON, F.J. Micronutrients soil tests. Micronutrients in agriculture. Madison, **Soil Science Society of America Journal**, p.427-472, 1991.

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

UREN, N.C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. In: **Advances in agronomy**. Academic Press, p. 141-203, 1992.

VERONESE, M. Acidez do solo e produtividade da soja em função de calagem e rotação de culturas. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual Paulista "JÚLIO DE MESQUITA FILHO". 2011.

WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 32, n. 5, p. 1929-1939, 2008.

YERMIYAHU, U.; KEREN, R.; CHEN, Y. Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 405-409, 1995.