



MATHUSALÉM MATEUS MOTA

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES DE CALCÁRIO NA
DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA**

LAVRAS – MG

2021

MATHUSALÉM MATEUS MOTA

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES DE CALCÁRIO NA
DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA**

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

2021

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

Mota, Mathusalém Mateus.

Efeito residual de doses de calcário na disponibilidade de
micronutrientes e na produtividade da soja / Mathusalém Mateus

Mota. - 2021.

32 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Flávio Araújo de Moraes.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras,
2021.

Bibliografia.

1. pH do solo. 2. acidez do solo. 3. micronutrientes nas folhas.

I. Moreira, Silvino Guimarães. II. Moraes, Flávio Araújo de. III.

Título.

MATHUSALÉM MATEUS MOTA

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES DE CALCÁRIO NA
DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E NA
PRODUTIVIDADE DA SOJA**

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

APROVADO em 26 de abril de 2021.

Ms. Sérgio Hebron Maia Godinho

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira

Orientador

Ms. Flávio Araújo de Moraes

Coorientador

LAVRAS – MG

2021

RESUMO

Atualmente muitos produtores têm utilizado, na abertura de áreas com solos ácidos, doses de calcário maiores que as recomendadas pelos boletins oficiais. Por outro lado, não há dúvidas de que valores de pH (H₂O) do solo acima de 7, reduzem a disponibilidade dos micronutrientes, podendo causar deficiências e reduzir a produtividade das culturas, a depender dos valores iniciais no solo. Desta forma, objetivou-se avaliar, o efeito de doses de calcário sobre disponibilidade de micronutrientes no solo e nas folhas e na produtividade da cultura da soja. O trabalho foi desenvolvido em uma área de abertura, na Fazenda Ingaí, no município de Ingaí – MG. O experimento foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, num Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, com alta acidez. Os tratamentos consistiram em cinco doses de calcário mais o tratamento controle (0, 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha⁻¹), que foram aplicadas superficialmente e incorporadas com duas passadas de grade pesada (discos de 32 polegadas), seguidas de duas passadas de grade niveladora (20 polegadas). O tamanho de cada parcela correspondeu a 10,5 m x 30 m (315 m²). Cada parcela constituiu-se de aproximadamente 21 linhas, espaçadas a 50 cm. Foi cultivado na área a cultivar de soja Bramax Foco IPRO, semeada com uma densidade de 290.000 sementes por hectare. Após a colheita da soja, realizada no dia 18/3/2020, foram retiradas amostras de solo, em que foram determinados os valores de pH, os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo e a saturação por bases (V%). Além disso, durante o estágio R2 (pleno florescimento) da soja foram coletadas folhas para determinação da concentração de B, Cu, Fe, Mn e Zn. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste F e quando os resultados foram significativos, efetuou-se a análise de regressão. Não foi observado efeito significativo da aplicação das crescentes doses de calcário na disponibilidade no solo dos micronutrientes Cu e Zn. Observou-se efeito linear para B, Fe e Mn, no entanto, com o B permanecendo na faixa de teores baixos no solo; o Fe reduzindo da faixa de teores bom, para faixa de teores médio. No caso do Mn, houve aumento dos teores de bom para alto no solo. A concentração de micronutrientes nas folhas não foi modificada pelas doses de calcário, com todos os micronutrientes se mantendo dentro nos níveis considerados adequados.

Palavras-chave: pH do solo, acidez do solo, micronutrientes nas folhas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	8
3	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1	Acidez do solo.....	9
3.2	As metodologias utilizadas para recomendação de calcário	10
3.3	Efeito da calagem na disponibilidade de micronutrientes.....	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1	Caracterização da área experimental.....	16
4.2	Delineamento experimental e condução do experimento em campo	17
4.3	Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo e folha.....	18
4.4	Avaliação dos componentes de produção	18
4.5	Análise estatística.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1	pH	20
5.2	Micronutrientes no solo	20
5.3	Micronutrientes nas folhas	22
5.4	Produtividade.....	23
6	CONCLUSÕES.....	25
	REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande dinamismo dos atuais sistemas de produção de grãos, com a realização de até três safras por ano é de suma importância a adequada construção da fertilidade do solo ao longo do perfil. Deve-se buscar estabelecer valores adequados de nutrientes, a fim de possibilitar maior resiliência das culturas nos sistemas de produção (WENDLING et al., 2008; MOREIRA; MORAES, 2018).

Tendo em vista os fatores que mais limitam a produtividade das culturas, Caires et al. (2003) destacam a acidez do solo em função da toxidez causada por Al^{3+} e Mn^{2+} e os baixos teores de cátions básicos. Conforme Raij (2011), essas características fazem com que o desenvolvimento do sistema radicular das plantas seja limitado, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

A fim de que se consiga reduzir a acidez do solo, o manejo a ser realizado é a calagem. Para isso, utiliza-se o calcário, que é um sal com baixa solubilidade e tem seu efeito localizado. Assim sendo, é preciso que haja uma boa incorporação do corretivo para corrigir a acidez do solo em profundidade, pois isso aumenta o contato do produto com as partículas do solo (KAMINSKI et al., 2005).

Para que o efeito da calagem seja satisfatório, a dose recomendada deve ser suficiente para elevar o pH em H_2O para valores entre 6,0 e 6,5, disponibilizar Ca^{2+} e Mg^{2+} para valores adequados, os quais de acordo com Alvarez et al. (1999), estão na faixa entre 2,5 a 4,0 e 0,9 a 1,5 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente.

A disponibilidade de micronutrientes às plantas pode sofrer influência de vários fatores, tais como o potencial redox, teor de matéria orgânica, umidade, temperatura e atividade de micronutrientes (FAGERIA et al., 2002; MOREIRA et al., 2017). Segundo Gupta et al. (2008) a redução da disponibilidade de micronutrientes está associado ao aumento excessivo dos valores de pH H_2O , sendo que no sistema de produção brasileiro, os casos são associados a aplicação de elevadas doses de calcário.

Atualmente, durante a recomendação de calagem, alguns técnicos de campo estão dobrando e/ou até triplicando as doses de calcário calculadas pelos métodos oficiais; outros, além disso, no cálculo das doses utilizam valores de saturação por base acima de 80. A tomada destas decisões tem sido baseada em observações práticas, pois, sabe-se que as doses recomendadas com base na literatura, muitas vezes, não têm sido suficientes para a adequada correção da acidez do solo, devido à subestimação do poder tampão dos solos, falhas nas amostragens/análises de solos, perdas durante a aplicação, dentre outros fatores. Portanto, é

importante que novos estudos sejam realizados, pois sabe-se que doses baixas de calcário não são suficientes para corrigir a acidez do solo e disponibilizar quantidades adequadas de Ca^{2+} e Mg^{2+} , assim como doses mais elevadas podem reduzir a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos.

Desta forma, objetivou-se avaliar a disponibilidade de micronutrientes no solo e nas folhas de soja, bem como a produtividade da cultura da soja e o aumento da V% em função da aplicação de diferentes doses de calcário.

2 OBJETIVOS

Estudar a influência da aplicação de diferentes doses de calcário na disponibilidade de micronutrientes, aumento da V% e a produtividade da cultura da soja.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Acidez do solo

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são normalmente altamente intemperizados, sendo assim, possuem elevados teores de Al^{3+} (CIOTTA et al., 2004), e apresentam baixos teores de cátions básicos, tais como Ca, Mg e K. Assim, no caso das culturas anuais, causam grande dificuldade para o desenvolvimento radicular (FAGERIA, 2001). Ou seja, originalmente esses solos possuem elevada acidez, que afeta de forma direta a disponibilidade de vários nutrientes para as plantas, como N, P, K, Ca, Mg, S e Mo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

Para Lopes (1991), pode-se entender a acidez do solo de três maneiras; a acidez potencial, compreendida em acidez trocável e acidez não trocável, além da acidez ativa. Essa última é denominada pela parcela de hidrogênio presente na solução do solo, em forma de H^+ , representada por valores de pH. Em contrapartida, a acidez trocável é atribuída aos íons H^+ e Al^{3+} , que por forças eletrostáticas permanecem ligados nas superfícies dos colóides. Por sua vez, a acidez não trocável é determinada pela ligação covalente do H^+ , sendo a acidez potencial representada pela soma da acidez trocável com a acidez não trocável.

Como citado por Souza et al. (2007), a acidez do solo pode ser gerada por diversos fatores, assim como: material de origem, clima, agentes de intemperismo, organismos e a exploração agrícola. Esta última proporciona a exportação de nutrientes, que em grande parte das vezes não são repostos corretamente.

Além da acidez natural que os solos brasileiros possuem, parte é gerada durante os cultivos sucessivos, sem a correta correção dos cátions H^+ e Al^{3+} e reposição de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , tais como pela lixiviação e erosão dos solos, principalmente em áreas de pastagens degradadas (LEPSCH, 2010).

O uso de fertilizantes nitrogenados, como ureia e nitrato de amônio e as reações dos ácidos carboxílicos, grupos fenólicos e alcoólicos presentes na matéria orgânica apresentam importante papel na acidificação dos solos. A liberação de N e S ocorre devido a conversão de compostos orgânicos em inorgânicos, que liberam H^+ ao sofrerem oxidação. Também há a reação do CO_2 , proveniente do ar e de compostos orgânicos, liberando prótons com a água, acidificando o solo (SOUZA et al., 2007).

Com o intuito de diminuir os prejuízos ocasionados pela acidez do solo, é fundamental que antes do estabelecimento do sistema de plantio direto (SPD) seja feita a calagem, visando corrigir a acidez da camada de 0,0 a 0,4 m (MIRANDA et al., 2005). Embora alguns

pesquisadores e os próprios produtores entendem a importância da correção profunda do solo, na maioria dos boletins de recomendação de calagem e adubação, dá-se ênfase maior na necessidade de correção da camada de 0 a 20 cm.

A calagem é uma das práticas mais efetivas para aumentar a produção agrícola, pois, possui um custo relativamente baixo, quando comparado aos seus benefícios, como: elevar o pH e neutralizar o Al^{3+} e Mn^{2+} , quando em níveis tóxicos, eleva os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e os valores da V% (FAGERIA, 2001). Por ser um material com uma solubilidade baixa, a reação do calcário é limitada ao local em que é aplicado no solo. Devido sua baixa mobilidade, a calagem não apresenta um efeito rápido na redução da acidez do subsolo (CAIRES et al., 2004).

De acordo com Rangel et al. (2009), a calagem apresenta consequências diretas no aumento da atividade biológica e na maior eficiência dos fertilizantes por causar alterações nos valores de pH e nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} . Além disso, a correção destes solos resulta na elevação da CTC efetiva (t), ocasionando maior disponibilidade do fósforo e estímulo para o desenvolvimento radicular. Em contrapartida, alguns fatores podem influenciar na eficiência do calcário e na correção da acidez do solo, como as doses utilizadas, granulometria do calcário, poder tampão, reatividade do corretivo e precipitação (MELLO et al., 2003; MIRANDA et al., 2005; GONÇALVES et al., 2011).

3.2 As metodologias utilizadas para recomendação de calcário

Os métodos de recomendação de calagem visam fornecer doses de calcário suficientes para a correção da acidez, além do fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} em níveis adequados. De modo geral, a maioria dos solos brasileiros necessita de aplicação de calcário. Porém, a necessidade de calagem não apresenta apenas uma metodologia para todo o Brasil. Existem vários métodos de recomendação de calagem, tais como: método da solução tampão (SMP), método da saturação por bases e o método da elevação dos teores de cálcio e magnésio e neutralização do Al^{3+} (LOPES et al., 1990; COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO, 1998; ALVAREZ & RIBEIRO, 1999; FULIN, 2001).

Para determinar a necessidade de calcário nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul é comumente utilizado o método da solução tampão (SMP), em que a necessidade de calcário a ser aplicado é consultado em uma tabela específica, representada pelo pH SMP, que é o pH da suspensão recorrente do agito de uma quantidade de solo com um volume da solução tampão e o pH em água que se deseja atingir para uma cultura específica (LOPES et al., 1990; ALVAREZ & RIBEIRO, 1999).

O método da saturação por bases, chamado de “Método de São Paulo” baseia-se na relação existente entre o pH e a Saturação por bases. A necessidade de calagem é definida para atingir um valor específico de saturação por bases, considerado adequado à cultura que se deseja trabalhar. Na fórmula, consideram-se os parâmetros referentes ao solo, ao corretivo e a cultura a ser implantada (LOPES et al., 1990; ALVAREZ & RIBEIRO, 1999, FULIN, 2001). Segundo Raij (1996), para o cultivo de soja, milho, feijão e trigo, a V% adequada é de 70%.

Pelo fato de o Al^{3+} ser considerado um dos principais componentes associados à acidez do solo, para se obter a necessidade de calagem, um dos principais critérios é basear-se na neutralização do Al^{3+} . Com isso, o método denominado “Método de Minas” tem por objetivo neutralizar o Al^{3+} e elevar os teores de Ca e Mg, para valores considerados adequados para as culturas (LOPES et al., 1990; ALVAREZ & RIBEIRO, 1999, FULIN, 2001). Em diversas regiões no Brasil utilizam variações do método da neutralização do Al^{3+} visando neutralizar o alumínio trocável e elevar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis (LOPES et al., 1990; ALVAREZ & RIBEIRO, 1999, FULIN, 2001). O teor de argila do solo, a susceptibilidade, ou a tolerância da cultura à acidez, o poder tampão do solo e as exigências das culturas em Ca^{2+} e Mg^{2+} são fatores levados em consideração no uso de diferentes métodos de recomendação de calcário e são características adotadas de maneira diferentes em cada um desses métodos (LOPES et al., 1990; ALVAREZ & RIBEIRO, 1999; FULIN, 2001).

No Brasil central os métodos de recomendação de calagem mais utilizados são os Métodos de Minas e de Saturação por Bases. Pelo avanço tecnológico da agricultura, em algumas regiões, tem-se cultivado até três safras em um ano agrícola, com culturas cada vez mais exigentes em questões nutricionais e mais sensíveis a acidez, apresentando ciclos mais precoces e maiores produtividades, que acidificam mais o solo. Nestes casos, acredita-se que esses métodos não vêm apresentando uma boa eficiência na correção da acidez do solo e elevação da V%.

Na literatura já é possível encontrar alguns estudos que indicam para uma maior necessidade de calcário nas áreas (MORAES, 2019). Fageria (2001) observou que, para elevar a V% a valores de 56 a 66, foram necessárias de 16 a 20 $Mg\ ha^{-1}$ de calcário respectivamente, aplicado em um Latossolo Vermelho com 33% de argila e V% de 31. Se fosse calculada a necessidade de calcário para elevar o V% para 70% na camada de 0 a 20 cm, esta dose seria por volta de 3 $Mg\ ha^{-1}$.

Em condições de Cerrado, Fageria e Stone (2004) observaram que para atingir valores de V% de 72 e 41 nas camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m, respectivamente, a necessidade de calagem foi de 12 $Mg\ ha^{-1}$, em um Latossolo Vermelho com 37% de argila e V% inicial de 36.

Voltando a metodologia de recomendação de calcário de Minas Gerais, é possível observar que a mesma apresenta alguns pontos negativos, que são relacionados aos valores empíricos de Y (solo) e apenas 2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e Mg^{2+} exigidos por muitas das culturas anuais (X). Isso contradiz o próprio boletim da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG) de 1999, que considera como valores adequados para Ca^{2+} e Mg^{2+} na faixa entre 2,5 a 4,0 e 0,9 a 1,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente (Ribeiro et al., 1999).

É importante ressaltar que a Metodologia de Minas não considera a matéria orgânica (MO) nos cálculos, visto que essa é a principal responsável pela CTC e capacidade de tamponamento desses solos. Atualmente as lavouras de milho que tem se destacado com produtividades elevadas, apresentam valores de Ca^{2+} de 3,0 a 4,0 e Mg^{2+} superior a 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (MOREIRA & MORAES, 2018).

Os métodos oficiais de recomendação de calcário são calculados para atender a camada de 0,0 a 0,2 m. Porém, visando corrigir o solo até a camada de 0,4 m de profundidade, é recomendado que se dobre a dose calculada. Como essas recomendações não têm surtido os efeitos desejáveis para a correção do solo, na prática, alguns produtores tem utilizados doses de calcário muito acima das que são recomendadas pelos métodos oficiais. Com o intuito de evitar essas recomendações empíricas de doses de calcário, Moreira e Moraes (2018) propõe-se algumas mudanças para o Método de Minas, até que surja novos métodos de cálculos com embasamentos científicos, para as cultivares atuais.

Este método proposto por Moreira e Moraes (2018) desconsidera que as culturas toleram saturação por alumínio ($m_t\%$) de 20% na camada de 0,0 a 0,2 m, visto que o Al^{3+} compromete o desenvolvimento radicular e o aprofundamento das raízes. Atualmente, já existem evidências de que o teor de Al^{3+} trocável deve ser neutralizado mesmo nas camadas mais profundas do solo. Deste modo, simplificando a fórmula de necessidade de calagem do Método de Minas, teria o seguinte formato:

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

Como os valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ iguais a 2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ estão abaixo dos valores considerados adequados por Ribeiro et al. (1999) e Fageria e Stone (2004), encontraram que valores adequados de Ca^{2+} e Mg^{2+} para o feijão são de 4,0 e 1,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, Moreira e Moraes (2018) propõe-mudanças em seu valor. Sugerem calcular o X, como sendo 70% da CTC potencial do solo, com o intuito de evitar a super calagem e que o fornecimento de cálcio seja adequado em solos com CTC abaixo de 7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Em solos arenosos (argila < 15%), o fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} deve ser de no mínimo 1,5 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (ZANCANARO et al., 2018).

3.3 Efeito da calagem na disponibilidade de micronutrientes

Embora não sejam exigidos em grandes quantidades pelas plantas, os micronutrientes, fornecidos em gramas ha^{-1} , são tão importantes à nutrição das plantas quanto os macronutrientes, que são fornecidos em kg ha^{-1} (VITTI et al., 2005).

Os elementos atualmente considerados micronutrientes são o B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn, embora exigidos em baixas concentrações, estão inteiramente ligados para um adequado crescimento e produtividade das culturas. Como são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, os micronutrientes agem como constituintes das paredes celulares (B) e das membranas celulares (B, Zn), além de constituintes de enzimas (Fe, Mn, Cu, Ni), ativadores enzimáticos (Mn, Zn) e também na atividade fotossintética (Fe, Cu, Mn, Cl) (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

Kirkby e Römheld (2007) citam que em virtude da grande importância da produção agrícola, os agrônomos e especialistas em nutrição de plantas vêm mostrando crescente interesse no uso dos micronutrientes. Visto que teores inadequados de alguns micronutrientes nas culturas, além de limitar o crescimento, podem ter efeito direto na redução de eficiência de macronutrientes.. É importante ressaltar que os micronutrientes como Cu, Mn, Zn e B estão diretamente envolvidos na fase reprodutiva do crescimento das plantas, afetando a produtividade e qualidade da cultura colhida. Além de que Mn, Zn e Mo conferem resistência contra os estresses abióticos e bióticos, como pragas e doenças (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

É sabido que doses de calcário, sendo baixas e/ou elevadas podem reduzir a produtividade das culturas, visto que podem interferir na disponibilidade de todos os nutrientes. Foloni, Santos, Creste e Salvador (2008) citam que ao utilizar doses elevadas de calcário, o valor de pH do solo pode aumentar, chegando a valores iguais ou superiores a 7, ocasionando deficiências de nutrientes como P, Zn, B e Mn.

Para a implantação de modo efetivo do sistema de plantio de direto (SPD), a calagem feita de forma correta, visando o sistema de produção, aumenta a quantidade de M.O. 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), tal qual eleva-se os valores de pH, quando se aplica 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).

Segundo Gupta et al. (2008) o aumento excessivo do pH na camada superficial tem sido relacionado às deficiências de micronutrientes, e no Brasil, vários casos estão atribuídos à

aplicação de altas doses de calcário. Contudo, altos teores de Zn e Mn foram encontrados nas camadas superficiais de solos sob SPD, fazendo com esta explicação não seja sempre correta, mesmo quando os valores de pH e os teores de M.O. estavam altos (TEIXEIRA et al., 2003; MOREIRA et al., 2006; MOREIRA et al., 2016). Caires et al. (2006) em ensaio realizado em superfície de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilo-arenosa, empregaram doses crescentes de calcário nas culturas de soja e milho. No trabalho, foi possível verificar que ocorreu uma diminuição dos teores de Mn e Zn nas folhas de soja, porém não houve perda de produtividade da cultura. Fonseca et al. (2010) em análises foliares em plantas de trigo observaram que doses mais elevadas de calcário ocasionaram a redução do teor de Mn, contudo as concentrações de Cu, Fe e Zn nas folhas não foram afetadas. Em outro estudo conduzido por Soratto e Crusciol (2008), cultivando aveia preta sob SPD em Latossolo Vermelho, utilizando-se altas doses de calcário, mostraram que ocorreu redução na absorção de Mn, Zn e Fe.

Moreira et al. (2017) e Moreira e Moraes (2018) destacam a importância de se realizar a calagem com a dose adequada, afim de se evitar sintomas de deficiência de micronutrientes provenientes de condições de pH bastante elevados. Em estudo realizado por Tanaka et al. (1993), em que após 6 anos de experimento com aplicação de doses de calcário elevadas, foi relatado a presença de sintomas de deficiências de Mn em soja, reduzindo em 58% a produtividade, em virtude do aumento da V% de 50 para 83. Tal efeito é alcançado é decorrente dos fatores, como a má incorporação do calcário, atrelada a aplicação de altas doses, sem validação científica (TANAKA; MASCARENHAS, 1992; MOREIRA; MORAES, 2018).

Com o intuito de verificar a disponibilidade de micronutrientes em solos brasileiros, foram realizados alguns trabalhos (RODRIGUES et al., 2001; NASCIMENTO et al., 2006). Devido à escassez natural de micronutrientes em solos sob Cerrado, Novaes et al. (1989) e Galvão (2002) apresentaram a necessidade de melhorar a disponibilização de micronutrientes, a qual já é baixa independentemente da calagem.

Em virtude da formação de complexos estáveis com de micronutrientes metálicos com a M.O., no Brasil há relatos sobre deficiência de Mn quando os valores de pH em água ultrapassam 6,0. (Borkert 1991; Quaggio, 1991 e Sanzonoicz, 1995). O Cu apresenta sua solubilidade dependente do pH (FONSECA et al., 2010), segundo Fageria et al. (2002) a disponibilidade de Cu é reduzida em cem vezes para cada unidade de pH que se aumente. É relatado pelos mesmos autores, que em pH acima de 6,0, o Cu reduz a sua disponibilidade, assim como o Mn, aumentando a adsorção à M.O. e aos materiais argilosos. Por sua vez, o Zn apresenta maior disponibilidade na ausência de aplicação de calcário, como é relatado por Pereira et al. (2007).

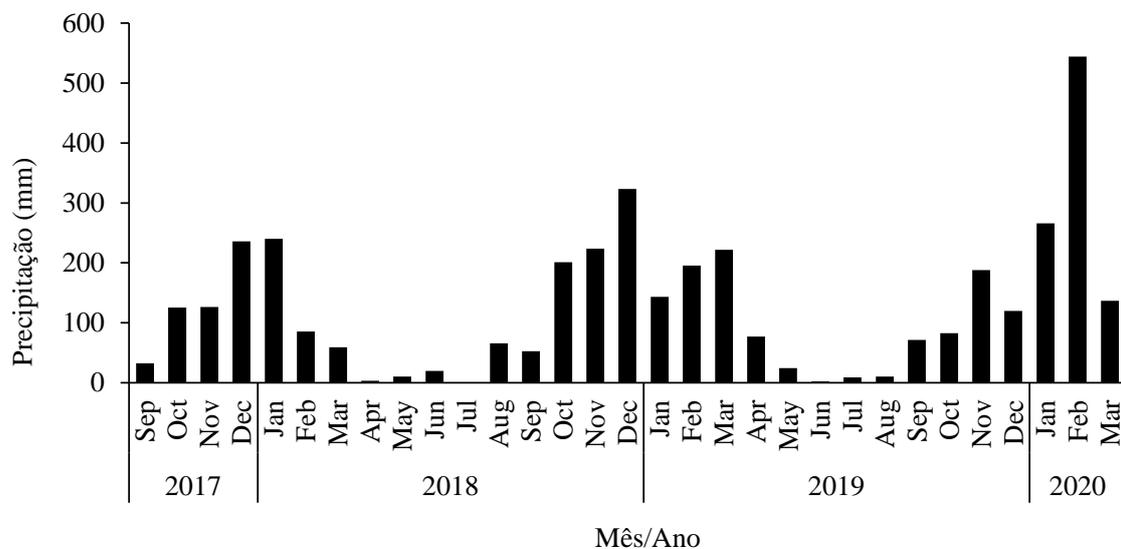
Moraes (2019) ressalta a necessidade de novos estudos, visto que na prática, os produtores vêm utilizando doses de calcário superiores às recomendadas pelos métodos oficiais não havendo observações de deficiências de micronutrientes. Porém, como o surgimento das deficiências está relacionado ao aumento do pH, pelas doses de calcário, como o comportamento variável com o poder de tamponamento dos solos, as respostas serão variáveis em cada condição, exigindo novos estudos visando a proporcionalidade entre a correção do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na fazenda Ingaí, no município de Ingaí – MG, situada nas coordenadas 21°25'32.1"S 44°56'18.5"W e altitude de 950 m, sob um Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013). As precipitações pluviométricas mensais foram registradas durante o cultivo, como apresentado na figura 1. Do período de instalação do experimento (aplicação de calcário) até a colheita da soja houve um acúmulo de chuvas de 3960 mm.

Figura 1 - Precipitações pluviométricas mensais ocorridas durante o período do experimento na fazenda Ingaí, no município de Ingaí – MG.



Fonte: Rede do INMET

O experimento foi implantado numa área de abertura, a qual se encontrava com pastagem de braquiária degradada. Na Tabela 1 podem ser visualizadas as características químicas do solo, antes da instalação do experimento e na Tabela 2 pode ser observado composição granulométrica do solo.

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

Prof.	pH	P1	K	Ca	Mg	H+Al	T	V	MO	B ²	Cu ¹	Fe ¹	Mn ¹	Zn ¹
m	(H ₂ O)	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³					
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	-	-	-	-	-	-

¹ Mehlich 1, ² água quente.

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

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

4.2 Delineamento experimental e condução do experimento em campo

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos de aplicações de seis doses de calcário (0, 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha⁻¹). O calcário foi aplicado superficialmente e incorporado com duas operações de grade pesada (32 polegadas), logo depois, com o objetivo de nivelar o solo, foi realizado duas operações de grade niveladora (discos de 20 polegadas). Cada parcela do experimento correspondeu ao tamanho de 10,5 m x 30 m, totalizando uma área de 315 m², em que a semeadura se constituiu de aproximadamente 21 linhas de soja, espaçadas de 0,5 m.

A implantação do experimento ocorreu no dia 20 de setembro de 2017, utilizando-se o distribuidor de calcário Bruttus® para a aplicação das diferentes doses de calcário. O calcário utilizado apresenta características que podem ser visualizadas na Tabela 3

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

RE	PN	PRNT	CaO	MgO
%				
86	90	77	47	14

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

Como se trata de um experimento de longa duração, os dados que serão apresentados se referem à soja cultivada no segundo ano de cultivo da área, após a aplicação das doses de calcário. Na Tabela 4 é apresentado o histórico das operações realizadas na área anteriormente.

Tabela 4 - Histórico de operações desde a instalação dos experimentos à colheita.

Safra	Cultura	Cultivar	Sementes m ⁻¹	Plantio	Colheita	Ciclo	Dose (kg/ha)	Adubo	KCl (kg/ha)
17x18	Feijão	BRS Perola	10	28/01/2018	28/04/2018	90	200	NPK 09:43:00	200
18x19	Soja	SYN 13671 IPRO	14	13/11/2018	31/03/2019	138	200	Map Gold Humix	200
19x19	Trigo	BRS 264	68	15/04/2019	27/07/2019	103	100	MAP	0

Fonte: Moraes (2019)

Todas as operações de manejo da cultura seguiram o manejo padrão da fazenda, como a adubação, escolha da cultivar, controle de doenças, pragas e plantas daninhas. Foi cultivada a cultivar de soja Brasmax Foco IPRO, semeada de forma mecânica, com 200 kg ha⁻¹ de MAP (Fosfato monoamônico) no sulco de semeadura, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e distribuição de 14,5 sementes por metro, totalizando uma densidade de 290.00 sementes por hectare. A adubação de potássica foi realizada com 170 kg ha⁻¹ de KCl (cloreto de potássio).

4.3 Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo e folha

No mês de janeiro de 2020, quando a cultura atingiu o início do florescimento (estádio R1 a R2), foram coletadas folhas para a determinação das concentrações foliares de nutrientes. Foram coletados 10 trifólios com pecíolos por parcela, sempre do terceiro trifólio a partir do ápice para a base da planta.

O material vegetal foi levado a estufa de circulação de ar forçada, com temperatura entre 60 a 65°C para secagem, até atingir a massa constante. Em seguida, o material foi moído em moinho tipo Willey, com peneira de 20 mesh. Posteriormente, foram quantificados em laboratório os teores dos nutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo Malavolta et al. (1997). Na composição dos extratos, foi utilizado digestão nitro perclórica para Cu, Fe, Mn, Zn. Para o B, foi utilizada digestão via seca.

A amostragem do solo foi realizada no dia 18 de março de 2020, no mesmo dia da colheita da cultura. Para a amostragem, foi utilizado o trado holandês, retirando-se amostras nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m. Foram coletadas cinco amostras simples por parcela em cada profundidade, para compor uma amostra composta.

Nas amostras de solos foram determinados os valores de pH em água e os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn, com procedimentos descritos por Silva (1999). A partir dos resultados obtidos pelas análises de solos, foram calculados os valores de saturação por bases.

4.4 Avaliação dos componentes de produção

Para a avaliação dos componentes de produção, quando a cultura atingiu o estágio de maturação fisiológica, foram mensuradas as alturas de cinco plantas por parcela, escolhidas aleatoriamente. A produtividade de grãos por hectare foi estimada a partir da colheita de uma área de 7,5 m², composta por 3 linhas espaçadas a 0,5 metros com 5 metros de comprimento. A umidade dos grãos foi padronizada para 13% e calculada a produtividade da área por parcela.

4.5 Análise estatística

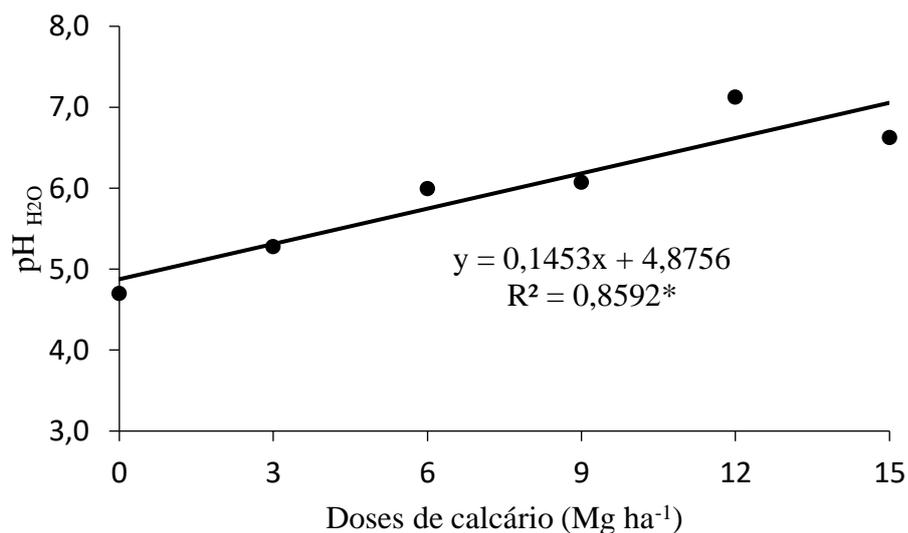
Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e atendendo-se os pressupostos, os resultados significativos para o teste F, foram submetidos a análise de regressão, em que os procedimentos adotados foram semelhantes aos apresentados por Ramalho et al. (2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 pH

Com os resultados obtidos nas análises, observou-se que houve um aumento linear nos valores de pH H_2O em função das doses de calcário (Figura 2). Os valores de pH segundo Tomé Júnior (1997) considerados ideais devem estar na faixa entre 6,0 e 6,5. Independente da dose, na maioria dos casos, os valores de pH situaram dentro desta faixa de 6 a 6,5, com exceção dos valores observados com a aplicação da dose 12 $Mg\ ha^{-1}$.

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



Fonte: Do autor (2020)

5.2 Micronutrientes no solo

Os teores de B determinados em todas as amostras, independentemente das doses de calcário, estavam abaixo de $0,3\ mg\ dm^{-3}$, que segundo Alvarez et al. (1999), estão na faixa de teores baixos no solo. Observou-se que quando houve aumento nas doses de calcário, o teor de B no solo reduziu de maneira linear, alcançando valores de $0,2\ mg\ dm^{-3}$ e $0,1\ mg\ dm^{-3}$ nas doses de $12\ Mg\ ha^{-1}$ e $15\ Mg\ ha^{-1}$ respectivamente (Tabela 5). A redução nos teores de B está relacionada ao aumento do pH, como é explicado por Souza et al. (1997) e Prodromu (2004), que há alta correlação com o alumínio trocável, precipitado pela adição de $CaCO_3$, com efeito mais marcante do $Al(OH)_3$ recém precipitado.

No caso do Cu e Zn, os teores no solo não foram modificados com as doses de calcário aplicadas. Os teores de Cu se mantiveram nas faixas de teores médio a bom ($1,1\ mg\ dm^{-3}$ a $1,5\ mg\ dm^{-3}$), de acordo com Alvarez et al. (1999), independentemente das doses aplicadas. Por

sua vez, o Zn se encontrava com teores baixos no solo (Alvarez et al., 1999), mantendo-se baixos, ou seja, não havendo interferência significativa das doses de calcário aplicadas. Por outro lado, esperava-se que os teores de Cu e Zn seriam reduzidos com a elevação do pH, devido à oxidação destes nutrientes no solo (Lindsay, 1979; Barber, 1995). Provavelmente, não houve reduções significativas dos teores destes nutrientes no solo porque os valores de pH em água normalmente não ultrapassaram os valores de 6,5 (Figura 2).

Tabela 5 - Efeito da calagem nos teores de micronutrientes do solo, na camada de 0,0-0,2 m.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário (Mg ha ⁻¹)	—————		mg kg ⁻¹	—————	
0	0,3	1,5	31,0	9,7	0,9
3	0,2	1,0	30,9	8,4	0,7
6	0,2	1,3	30,5	1,9	1,0
9	0,2	1,1	25,3	14,4	0,8
12	0,2	1,0	23,8	13,6	0,8
15	0,1	1,1	24,1	1,7	0,8
Efeito	L*	NS	L*	L*	NS
R ²	0,58	-	0,85	0,58	-
C.V%	4,45	20,22	10,46	16,45	2,49

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

¹ Mehlich 1, ² água quente.

Fonte: Do autor (2020)

No caso do Fe, os teores estavam dentro da faixa considerada adequada (31 a 45 mg dm⁻³), mas foram reduzidos de forma linear, para a faixa considerada de disponibilidade média, de acordo com Alvarez et al. (1999). É esperado que os teores de Fe²⁺ sejam reduzidos e as formas oxidadas de ferro aumentadas devido ao aumento do pH, reduzindo a disponibilidade do micronutriente às plantas, como observado no local do experimento. (SHUMAN, 1986; RHOTON, 2000; CAIRES et al., 2003).

Nos teores de Mn, houve um aumento linear na sua disponibilidade no solo, com aumento das doses, cujos valores saíram de 9,7 mg dm⁻³ (Tabela 5), considerado adequado, segundo Alvarez et al. (1999), para 13,7 mg dm⁻³ na parcela com aplicação da dose de 15 Mg ha⁻¹, faixa de teores considerados altos pelos mesmos autores. Esse aumento dos teores de Mn com aumento das doses de calcário não era esperado, pois o calcário eleva os valores de pH, o que normalmente reduz os teores de Mn (Moreira et al., 2017). No entanto, neste caso, possivelmente o calcário apresentava Mn em sua constituição e mesmo que não sendo prontamente disponível, pode ter aumentado durante as análises de solo, já que o extrator utilizado para extrair o Mn das amostras de solo foi o Mehlich 1, o qual apresenta alta acidez.

5.3 Micronutrientes nas folhas

A concentração de B nas folhas de soja foi reduzida linearmente com as aplicações das crescentes doses de calcário (Tabela 6), da mesma forma que foi observado no solo (Tabela 5). Mesmo com a redução ocorrida, a menor concentração observada foi 32,1 mg dm⁻³, com todos os valores permanecendo dentro dos teores considerados adequados, que de acordo com Raij et al. (1997), são de 21 a 55 mg kg⁻¹ para a soja. Ao avaliarem as mudanças na absorção de B na cultura da soja em diferentes valores de pH (5,2 a 6,6), Souza et al. (2010) obtiveram respostas diferentes em um solo argiloso e outro arenoso, não identificando diferenças significativas entre os tratamentos. Soares et al. (2008) perceberam que a absorção de B aumentou conforme a elevação dos valores de pH, ao avaliarem o efeito do pH, em valores variando de 4 a 8, em um Latossolo Vermelho Acriférico (LVf) argiloso e em um Latossolo Amarelo Ácrico (LA) de textura média.

Tabela 6 - Concentrações de micronutrientes nas folhas de soja em função de doses crescentes de calcário.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário (Mg ha ⁻¹)			mg kg ⁻¹		
0	40,7	13,4	100,3	91,7	44,2
3	37,8	10,9	84,3	59,4	44,0
6	37,8	12,5	92,1	52,3	34,4
9	35,3	12,9	83,3	42,5	33,6
12	35,1	12,4	88,5	42,3	32,5
15	32,1	15,4	92,0	41,6	32,9
Efeito	L*	NS	NS	Q*	L*
R ²	0,94	-	-	0,96	0,88
C.V%	4,45	15,07	7,95	20,09	12,09

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

Fonte: Do Autor (2021)

Os teores de Cu e Fe nas folhas não foram modificados pelas doses de calcário aplicadas (Tabela 6). Os teores de Cu estavam dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997) (10 a 30 mg kg⁻¹), Como a disponibilidade do Cu no solo não foi afetada pelas doses de calcário aplicadas, já esperava-se que a concentração do micronutriente nas folhas também não fosse modificada, principalmente porque os teores no solo se mantiveram em valores considerados de médio a adequado em todas as parcelas, independentemente das doses aplicadas. Caires et al. (2006) também não verificaram modificações na concentração de Cu nas folhas da soja, em função de doses crescentes de calcário em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilo-arenosa.

As concentrações de Fe se mantiveram dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997) (50 a 350 mg kg⁻¹). Souza et al. (2010) observaram maior acúmulo de Fe na matéria seca da parte aérea da soja, tanto em um solo arenoso, como em um solo argiloso em solo com baixo comparado a solos com alto valores de pH. No presente estudo, mesmo havendo uma pequena redução dos teores de Fe no solo (Tabela 5) com as doses de calcário, não foi possível observar decréscimo significativo na concentração de Fe nas folhas (Tabela 6), possivelmente por que mesmo com a redução observada com a aplicação das doses mais elevadas de calcários, os teores ainda continuaram na faixa de média a adequada no solo.

Foi observado que as diferentes doses de calcário apresentaram efeito quadrático nos teores de Mn nos tecidos foliares, causando uma redução na concentração, saindo de 91,7 mg kg⁻¹ do tratamento controle para 41,6 mg kg⁻¹ no tratamento com a dose de 15 Mg ha⁻¹ (Tabela 6). Mesmo havendo essa redução na concentração do Mn nas folhas, os teores desse micronutrientes mantiveram dentro da faixa que Raij et al. (1997) considerada adequada, que é de 20 a 100 mg kg⁻¹.

As concentrações de Zn sofreram um efeito de redução linear devido às aplicações das maiores doses de calcário (Tabela 6), porém, os teores permaneceram dentro da faixa adequada, de 20 a 50 mg kg⁻¹ segundo Raij et al. (1997), mesmo que os teores encontrados no solo tenham sido classificados como baixos. Estes resultados se diferem aos encontrados por Caires et al. (2006), quando observaram que não houve redução das concentrações de Zn nas folhas de milho frente as diferentes doses de calcário aplicadas.

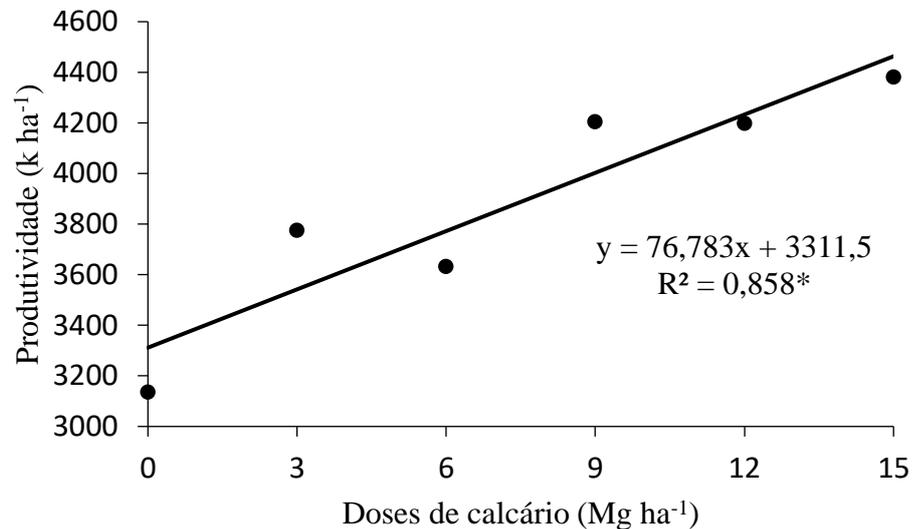
5.4 Produtividade

Para a produtividade da soja foi observado um efeito linear em função do aumento das doses de calcário (Figura 3). Em comparação com o controle, houve um incremento de 39,69% na produtividade da soja, com a dose de 15 Mg ha⁻¹ de calcário. Nessa última dose, a saturação por bases (V%) atingida foi de 79,65 (Figura 4), apresentando-se a importância de elevar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺. Também houve correlação positiva entre a produtividade da soja e a V%.

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 5,6 Mg ha⁻¹ de calcário para a camada de 0 a 20 cm. No entanto, de acordo com a curva, pensando-se na camada de 20 a 40 cm, a dose necessária seria de 11,2 Mg ha⁻¹, ou seja, o dobro da dose, demonstrando-se a necessidade de novos estudos. Em um trabalho com a aplicação de calcário em Latossolo Vermelho, com V% inicial de 9,7, Garbuio (2009) mostrou que foi preciso 12

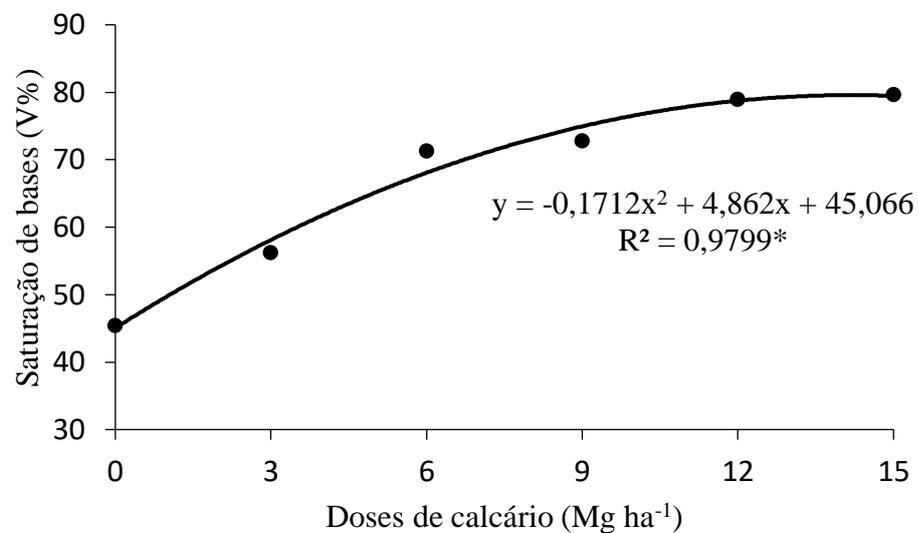
Mg ha⁻¹ de calcário para aumentar Ca²⁺ e Mg²⁺ e incrementar 15% a produtividade da soja. Posteriormente, Veronese (2011), em cultivo de soja em um Latossolo Vermelho-Amarelo, com V% inicial de 27, aplicou 8 Mg ha⁻¹ de calcário para obter um incremento de 20% de produtividade. Em ambos os trabalhos citados anteriormente, para se elevar a V% a 70, segundo Raiji et al. (1997), a dose recomendada seria de 8,5 e 5,9 Mg ha⁻¹, respectivamente.

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



Fonte: Do autor (2021)

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



Fonte: Do autor (2021)

6 CONCLUSÕES

As doses de calcário reduziram os teores de B e Fe no solo e aumentaram os teores de Mn, mas não afetaram os teores de Cu e Zn.

As doses de calcário reduziram a concentração de B, Mn e Zn nas folhas, mas, mantendo-se estes nutrientes dentro dos níveis considerados adequados. Para o Cu e Fe não foi observado efeito significativo.

Com a dose de 15 Mg ha⁻¹, houve um incremento de 39,69% na produtividade da soja, quando comparado com a testemunha.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, 1999. 359 p.
- 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.
- BARBER, S.A. (1995) **Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 414p.
- 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.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 125–136, fev. 2004.
- CAIRES, E. F. et al. Surface lime application and black oat cover preceding corn and soybean crops under no-till system. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87–98, 2006.
- 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.; 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.; 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.
- CIOTTA, M. N. et al. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 317–326, 2004.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife: IPA, 1998. 198p.
- 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.
- DA 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**, v. 67, n. 1, p. 60–70, 2010.

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.

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

FOLONI, J. S. S. et al. 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.

FORNES, Fernando; GARCÍA-DE-LA-FUENTE, Rosana; BELDA, Rosa M.; ABAD, Manuel. 'Alperujo' 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.

FULLIN, E.A. Acidez do solo e calagem. In: DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de Necessidade de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEEA/ INCAPER, p.70-98. 2001.

GAO, X. et al. Geochemical Modeling of Zinc Bioavailability for Rice. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 1, 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.

GONÇALVES, J. R. P. et al. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 369–375, 2011.

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.; 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.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.
- LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. p. 216.
- LINDSAY, W. Chemical equilibria in soil. **New York: John Wiley & Sons**, 1979. 449p.
- 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. . Acidez do solo e calagem. **ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos). Boletim técnico**, v. 1, p. 3, 1991.
- LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1990, 15 p.
- MALAVOLTA, E. et al. **Gesso Agrícola – Seu uso na adubação e correção do solo**. 2.ed. São Paulo: Ultrafertil, 1981. 30 p. (Série divulgação técnica, 8).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, 319p, 1997.
- MANDAL, L.N.; MANDAL, B. Transformation of zinc fractions in rice soils. **Soil Science**, v. 143, p. 205-212, 1987.
- 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 Distroférico 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. DE et al. 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.
- MORAES, F. A. de. Doses de calcário na construção da fertilidade do perfil do solo. 2019. 66 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

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.; 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.; 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.; 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.

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.

PRODROMU, K.P. Boron adsorption by amorphous Al(OH)₃ in the presence of low molecular weight organic acids. **Agrochimica**, v.48, p.172-176, 2004.

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

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

- 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**. 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.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.
- RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO COM DIFERENTES TEORES DE MAGNÉSIO E GRANULOMETRIAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1723–1736, dez. 2015.
- 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.
- 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).
- SHUKLA, U. C.; MITTAL, S. B. Characterization of Zinc Adsorption in Some Soils of India. **Soil Science Society Of America Journal**, v. 43, n. 5, p. 905-908, 1979.
- 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, 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.

- SOLOS, Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- 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**, 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.
- 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.
- 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, p. 247, 1997.
- UREN, N. C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, v. 48, n. C, p. 141–203, 1 jan. 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.
- VITTI, G. et al. **Nutricao e adubacao da cana-de-açucar**. p. 78, 2005.

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.

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.

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.