



OTÁVIO LOPES VIEIRA CAMPOS

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DA CALAGEM
EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**LAVRAS – MG
2021**

OTÁVIO LOPES VIEIRA CAMPOS

**DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DA CALAGEM
EM SOLO SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

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
Sérgio Hebron Maia Godinho
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).**

Campos, Otávio Lopes Vieira.

Disponibilidade de micronutrientes e produtividade de feijão
em função da calagem em solo sob sistema de plantio direto /
Otávio Lopes Vieira Campos. - 2021.

26 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Sérgio Hebron Maia Godinho.

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

Bibliografia.

1. Phaseolus vulgaris. 2. Calcário. 3. Acidificação do solo. I.
Moreira, Silvino Guimarães. II. Godinho, Sérgio Hebron Maia. III.
Título.

OTÁVIO LOPES VIEIRA CAMPOS

Disponibilidade de Micronutrientes e Produtividade de Feijão em Função da Calagem Superficial em Solos sob Plantio Direto.

Availability of Micronutrients and Bean Productivity as a Function of Surface Liming in Soils Under No-Till.

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

APROVADA em
Dr. ----- UFLA
Dr. -----
Dr. -----

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador
Sérgio Hebron Maia Godinho
Coorientador

LAVRAS – MG

2021

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de realizar um sonho.

À minha mãe Sônia, por me servir de fonte de inspiração e apoio em todos os desafios.

Ao meu pai Valter, por todos os ensinamentos que me ajudaram durante esse período.

À minha irmã Gabriela, pelo apoio em todos os momentos.

À minha namorada Gabriela, por todo amor, apoio e dedicação.

Aos meus irmãos da República A Marvada, onde pode construir uma nova família e ter apoio nos bons e maus momentos.

Ao Professor Silvino Moreira, por toda orientação, amizade e momentos compartilhados durante essa caminhada.

Ao Grupo de Pesquisa em Manejo de Produção (GMAP), pela ajuda na realização do trabalho, experiências compartilhadas e amizades construídas.

Ao meu tutor no período de estágio Breno Araújo, pela amizade e orientações profissionais.

À Rehagro, pelo apoio no crescimento profissional e grandes amizades construídas no período de estágio.

Ao grupo 3W Agronegócios pelo apoio com o local para condução do experimento e ensinamentos durante o período de estágio.

À todos que, de alguma maneira, me ajudaram nessa jornada.

Muito obrigado!

RESUMO

Grande parte dos solos brasileiros apresentam-se naturalmente ácidos antes dos cultivos. Mesmo após a correção inicial para utilização agrícola, demandam atenção relacionadas à manutenção da correção da acidez, para manter os valores adequados de pH, a fim de garantir a disponibilidade de nutrientes aos vegetais. Entretanto, altas doses podem causar efeito negativo sobre a disponibilidade de micronutrientes catiônicos. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de calcário aplicadas em superfície sem incorporação sob sistema de plantio direto na produtividade do feijão e na disponibilidade de micronutrientes no solo e na folha. O experimento foi instalado na Fazenda 3W, localizada no município de Carrancas-MG, no mês de setembro de 2019. Para o presente trabalho foram utilizados os dados da safra 2020/21. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e cinco doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 Mg ha⁻¹), sendo cada parcela composta de 10x20m. A distribuição do corretivo foi realizada a lanço e em área total com o equipamento com distribuição gravitacional, utilizando-se o Bruttus®. A semeadura do feijão foi realizada no dia 19/10/2020, utilizando-se a cultivar Ouro da Mata. Na adubação de semeadura utilizaram-se 200 kg. ha⁻¹ do formulado 13-33-00 + S15. Na adubação de cobertura, empregaram-se 300 e 200 kg. ha⁻¹ de KCl e ureia, respectivamente. Foram realizadas amostragens de folha e solo, bem como avaliação da produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância. As doses de calcário influenciaram a produtividade do feijão, com nível de significância de 0,05. A dose de 8 Mg. ha⁻¹ gerou um incremento de produtividade de 28% em relação ao controle. De maneira geral, não foi observado efeito negativo das doses de calcário nos teores de micronutrientes no solo e na sua concentração nas folhas com o aumento das doses aplicadas.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Calcário. Acidificação do solo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	9
2.1	Acidez e acidificação do solo	9
2.2	Calagem superficial: métodos e eficiência.....	10
2.3	Influência da calagem superficial na disponibilidade de micronutrientes	12
3	MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1	Caracterização da área experimental	13
3.2	Delineamento experimental e condução do experimento em campo	14
3.3	Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo e folha	15
3.4	Análise Estatística.....	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1	pH	17
4.2	Micronutrientes no solo	18
4.3	Micronutrientes na folha	20
4.4	Produtividade.....	20
5	CONCLUSÃO	23
	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

O sistema de produção de grãos no Brasil tem sido cada vez mais intensificado, com o intuito de aumentar as produtividades e realizar numa mesma área até três safras em um mesmo ano agrícola. Para que tal fato seja possível, o sistema de plantio direto (SPD) destaca-se como uma ferramenta imprescindível. A adoção de tal sistema vem trazendo ao Brasil muitas vantagens no que tange à conservação do solo, elevação das produtividades e lucratividade (FERNANDES, 2019). Um dos pilares do SPD é a rotação de culturas, neste sentido, o cultivo feijoeiro é uma alternativa interessante em muitos sistemas de produção do estado de Minas Gerais.

A acidez do solo é um dos fatores que mais limita a produtividade das culturas, isso ocorre devido à toxidez causada por Al^{3+} e Mn^{2+} e aos baixos teores de cátions básicos (CAIRES et al., 2003). Além disso, essas características fazem com o que o crescimento do sistema radicular das plantas seja limitado, reduzindo a absorção de água e nutrientes (RAIJ, 2011).

Com o intuito de reduzir a acidez do solo é fundamental a realização da prática da calagem. Para isso, é utilizado o calcário, produto com baixa solubilidade em água ($CaCO_3$: $0,014 \text{ g L}^{-1}$ e $MgCO_3$: $0,106 \text{ g L}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$), que possui como função corrigir o pH do solo, fornecer cálcio e magnésio às culturas e neutralizar os íons de alumínio e hidrogênio (RAIJ, 2011). Para corrigir a acidez do solo de maneira eficiente e em profundidade é necessário realizar a incorporação para aumentar a superfície de contato do calcário com o solo, antes da adoção do SPD (KAMINSKI, 2005; MOREIRA, 2019; MORAES & MOREIRA, 2021).

O SPD é uma prática que consiste no cultivo do solo com exclusiva mobilização na linha de semeadura (DENADRIN et al., 2011), o que torna impossível as operações de aragem e gradagem antes utilizadas para incorporação dos corretivos. Desta forma, é fundamental que doses adequadas para correção do solo sejam empregadas antes da adoção do SDP. Atualmente, alguns estudos têm mostrado aumento dos teores de Ca e Mg e dos valores de V% e pH ao longo do perfil do solo, além das produtividades das culturas, quando o calcário é incorporado até 40 cm de profundidade, antes da adoção do SPD (MORAES, 2019). Diante do exposto acima, é notória a importância da correta correção da acidez do solo anterior à implantação do SPD.

Com a realização de cultivos no SPD, ocorre a acidificação do solo, sendo necessário adotar a prática da calagem superficial para fornecer Ca e Mg, bem como neutralizar a acidez oriunda da fixação biológica de nitrogênio, uso de fertilizantes e extração remoção de bases (CAIRES, 2013). De acordo com Rodrighero (2015), a calagem superficial em solos sob SPD

é fundamental para maximizar a produtividade de grãos das culturas.

A atual metodologia de recomendação de calagem superficial para o estado de Minas Gerais sugere que a dose seja calculada para um terço da dose recomendada pelo Método de Neutralização do Alumínio e Elevação dos Teores de Ca e Mg, quando a camada amostrada for de 0 a 0,2 m e para metade da dose, quando a camada amostrada for de 0 a 0,1 m (LOPES, 1999). No entanto, a recomendação foi feita a mais de 20 anos atrás, baseando-se em resultados de pesquisas oriundos do Sul do Brasil. Até os dias atuais praticamente não existem estudos de campo para as condições do Estado de Minas Gerais.

Diante desta situação, muitos técnicos e produtores tem aplicado de 3 a 5 Mg. ha⁻¹, de maneira empírica. Desta forma, corre-se o risco de aplicação de doses acima das necessárias, as quais poderiam provocar a elevação do pH e deficiência de micronutrientes metálicos (RHOTON, 2000; BARBER, 2005). Diante disso, objetivou-se avaliar a influência de diferentes doses de calcário aplicadas em superfície na disponibilidade de micronutrientes e na produtividade do feijoeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Acidez e acidificação do solo

A acidez do solo é um fator limitante à produtividade das culturas em consideráveis áreas do mundo, devido a toxicidade por Al e Mn e baixa saturação por bases (COLEMAN; THOMAS, 1967). Para as culturas anuais, solos que possuem as características citadas acima, causam dificuldades para o desenvolvimento radicular (FAGERIA, 2001) e afeta de forma direta a disponibilidade de vários nutrientes para as plantas (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

Os solos podem ser ácidos pela própria constituição do material de origem, como é o caso dos solos de cerrado, que têm baixo teor de cátions básicos, ou podem tornar-se ácidos, nas regiões em que a precipitação é maior que a evapotranspiração, responsável pela lixiviação de bases, no perfil (FAGERIA; GHEYI, 1999). A partir disso, as cargas positivas são substituídas por Al^{3+} e H^+ , para manutenção da eletroneutralidade (RAIJ, 1991).

A lixiviação dos elementos químicos presentes na solução do solo é governada pela preferência dos mesmos pela adsorção às cargas do solo. Esta preferência é dada pela carga e pelo raio iônico hidratado do íon. Quanto maior carga tiver o íon e quanto menor seu raio iônico hidratado, maior sua atração pelas cargas. Esta preferência de ligação é chamada de série liotrópica (PAULETTI, 2020). Esta é uma das razões que faz os solos tropicais apresentarem altas concentrações de hidrogênio e alumínio e baixos teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio na forma trocável (SOUSA, 2004).

Segundo Lopes (1991), a acidez presente nos solos pode ser dividida em acidez ativa e acidez potencial, e esta, por sua vez, em acidez trocável e não trocável. A acidez ativa se refere à parte do hidrogênio que está dissociada, ou seja, presente na solução do solo. Já a acidez trocável, trata-se dos íons de H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides por forças eletrostáticas. Por outro lado, a acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos colóides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio.

Além da acidez natural dos solos e daquela oriunda do intemperismo, ocorre o processo de acidificação devido à algumas práticas agrícolas adotadas. As altas retiradas de cátions básicos devido aos sucessivos cultivos agrícolas (exportação das culturas), bem como as adubações minerais, principalmente as de fontes amoniacais, possuem papel de destaque na acidificação desses solos (SOUSA et al., 2007).

A acidificação do solo é promovida pela utilização de fosfatados e principalmente

nitrogenados de origem amoniacal e amídica, além da mineralização da Matéria Orgânica (MO) também contribuiu para o processo (PROCHNOW, 2004). O processo de acidificação é aumentado em detrimento da respiração das raízes, com exsudação de H^+ e dissociação de gás carbônico, naturalmente favorecida por solos de pH mais elevado acima de 5,2 (YE et al. 2019).

Desta forma, torna-se fundamental uma correta correção do solo, com incorporação do calcário de 0 a 0,4 m, para corrigir o pH e fornecer Ca e Mg, antes da implantação do SPD (MORAES, 2019). Após o sistema estabelecido, a correção da acidez do solo é realizada mediante a aplicação de calcário em superfície, adotando-se critérios de recomendação adequados para a estimativa da dose e frequência de aplicação (CAIRES, 2016).

2.2 Calagem superficial: métodos e eficiência

A metodologia de recomendação de calagem mais atual no Brasil é a do Estado do Paraná, a qual é embasada em vários trabalhos realizados nas condições daquele estado. Tal recomendação é baseada no método de elevação da saturação por bases, considerando a amostragem de 0,00 a 0,20 m, sendo toda a dose necessária calculada pelo método da saturação por base deve ser aplicada em uma única vez, sem parcelamento (PAVINATO et.al., 2017).

O Estado do Paraná possui outra metodologia de recomendação de calagem superficial. Segundo Caires (2013) o método mais adequado para recomendação de calcário superficial sob solos em SPD é o método de elevação de saturação por bases a 70%. Porém, ressalta a importância do diagnóstico para aplicação, a qual deve ser realizada apenas para solos com pH ($CaCl_2$) menor que 5,6 ou saturação por bases inferior a 65% na camada de 0,00 a 0,05 m.

A Comissão de Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina recomenda como metodologia oficial para tais estados reduzir a dose pela metade, utilizando o método de SMP e fazendo amostragem na camada de 0,00 a 0,10 m (WIETHÖLTER, 2004). Tal método consiste em determinar o pH das amostras de solo em uma solução denominada SMP, quanto menor o pH aferido nessa solução, maior é o poder tampão ($H+Al$) do solo e, portanto, maior será a necessidade de calcário recomendada para correção. A presente metodologia necessita de uma calibração específica para cada tipo de solo, o que restringe sua aplicação para as demais regiões devido à falta de estudos para compreender o comportamento de cada classe de solo.

Não há trabalhos específicos para calagem em superfície em solo sob SPD no estado de Minas Gerais, portanto, algumas recomendações são baseadas em pesquisas realizadas em

outros estados, com diferentes realidades. No Boletim para o Estado de Minas Gerais (5ª Aproximação, 1999) é proposto que quando a amostragem se referir à camada de 0,00 a 0,20 m, a dose do calcário seja diminuída em 1/3 da dose calculada pelo Método de Minas. Por sua vez, quando a amostragem for realizada na camada de 0,00 a 0,10 m, a quantidade recomendada seja reduzida pela metade (LOPES, 1999)

Quando se trata de pesquisas voltadas para a eficiência da calagem superficial, a maioria delas são voltadas para região Sul do país. Para demais regiões, por mais que existam trabalhos, há uma carência de pesquisas direcionadas com as especificidades de cada região.

Segundo Caires (2013) a aplicação de calcário na superfície em solo sob SPD pode proporcionar correção das camadas superficiais e subsuperficiais. Caires et al. (2000) observaram um aumento significativo no pH e saturação por bases (V%) tal como, a redução significativa da acidez potencial até a profundidade de 0,60 m depois de 60 meses da aplicação do corretivo. Em contrapartida, em pesquisa realizada por Cambri (2004) nos seis meses após aplicação, com experimento no qual foram observadas alterações nos atributos químicos do solo apenas na camada de 0,00 a 0,05 m. Alterações abaixo desta camada superficial só foram ser aferidas após avaliações de 18 e 30 meses.

São vários os fatores que influenciam a mobilidade do calcário ao longo do perfil do solo, dentre eles destacam-se o sistema de produção adotado, regime hídrico, condições físicas do solo e teores de MO (Caires, 2013). Tal fato evidencia a importância da adoção de sistemas de produção dinâmicos e a necessidade da realização de trabalhos específicos para outras condições diferentes da região Sul do país.

Na prática, muitos técnicos de campo recomendam a reabertura das áreas, visando incorporar o calcário, por ser um produto de baixa solubilidade. Em algumas situações, à princípio, as plantas podem apresentar um melhor desenvolvimento vegetativo. O cenário citado pode ser explicado apenas pelo fornecimento mais acelerado dos nutrientes mineralizados pela incorporação da MO (LEITE, 2018). Porém, diante da dificuldade do aumento do teor de MO, principalmente em regiões tropicais, deve-se analisar com critério a tomada de decisão de reabrir a área.

Em trabalho realizado no estado de São Paulo por Silva et. al (2012), foi observado incremento de produtividade de 31% na produtividade do feijoeiro em relação à testemunha em função da aplicação de calcário em superfície na dose de 5,4 Mg. ha⁻¹. No entanto, há uma carência de trabalhos voltados para o estado de Minas Gerais. A importância do feijoeiro para o sistema de produção na região, ressalta a necessidade de respaldos científicos sobre o assunto.

2.3 Influência da calagem superficial na disponibilidade de micronutrientes

Segundo Vitti et. al (2005), embora não sejam exigidos em grandes quantidades pelas plantas, os micronutrientes, fornecidos em $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$, são tão importantes à nutrição das plantas quanto os macronutrientes, que são fornecidos em $\text{kg}\ \text{ha}^{-1}$. Os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn são absorvidos pelas plantas predominantemente nas formas de H_3BO_3 , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} , respectivamente (ABREU et al., 2007)

Como já argumentado anteriormente, a calagem tem a função de corrigir o pH do solo e fornecer Ca^{2+} e Mg^{2+} . Segundo Caires (2016), a aplicação de doses crescentes de calcário em solo em SPD aumenta o pH das camadas superficiais de maneira linear. A elevação do pH, 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.

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. Porém, em estudo realizado por Moreira et. al (2016), foi observado altos teores de Zn e Mn nas camadas superficiais de solos sob SPD, fazendo com que esta explicação não seja sempre correta, mesmo quando os valores de pH e os teores de M.O. estavam altos. Segundo Silva et al. (2007) a aplicação de calcário com posterior incorporação com dose até $4,48\ \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ promoveu aumento na absorção de Cu e Mn pelas raízes do feijoeiro.

Devido ao fato de ocorrer a formação de complexos estáveis de micronutrientes metálicos com a M.O., no Brasil há relatos sobre deficiência de Mn quando o valor de pH em água ultrapassa o valor de 6,0 (Borkert 1991; Quaggio, 1991 e Sanzonoicz, 1995). O Cu também possui sua disponibilidade dependente do pH, e a disponibilidade do mesmo é reduzida em cem vezes para cada unidade de pH em água que aumenta (FONSECA et al., 2010). Segundo Pereira et al. (2007), o Zn apresenta maior disponibilidade na ausência de aplicação de calcário.

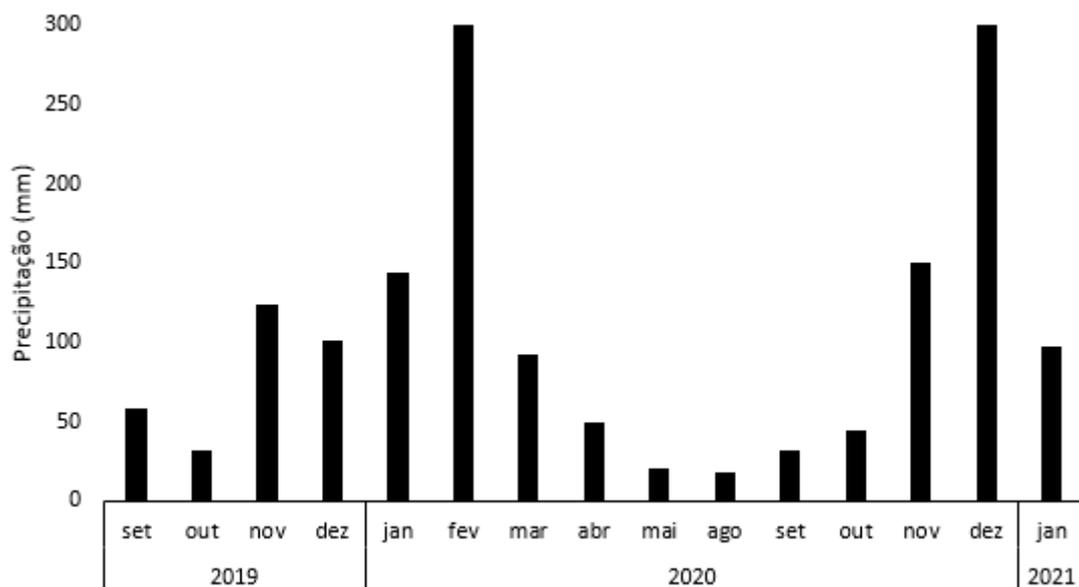
Diante do exposto, é possível observar a necessidade de novos estudos que correlacionam a aplicação de calcário em superfície com a disponibilidade de micronutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na cidade de Carrancas-MG, na Fazenda 3W Agronegócios situada à latitude -21.554092 e longitude -44.762419 e altitude de 1017 m, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2018). As precipitações pluviométricas mensais foram registradas desde a implantação do experimento, como apresentado na figura 1. No período que compreende desde a aplicação do calcário até a colheita do feijoeiro houve um acúmulo de 1632 mm.

Figura 1 – Precipitações pluviométricas mensais desde a data de instalação do experimento.



Fonte: Banco de dados Fazenda 3W Agronegócios

O experimento foi implantado em uma área sob SPD há mais de três anos, sendo que na safra anterior à implantação foi realizada a sucessão soja/trigo. As propriedades químicas do solo antes da instalação do experimento se encontram na Tabela 1. Também foi determinada a composição granulométrica do solo (Tabela 2). As características do calcário utilizado podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 1 – Propriedades químicas do solo, antes da instalação do experimento.

Prof.	pH	P (Mehlich-1)	K	Ca	Mg	Al	H+AL	V	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn
m	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³				%			mg dm ⁻³				
Fazenda 3W Agronegócios														
0,00-0,10	5,2	7,5	0,3	1,8	0,6	0,1	2,5	52,3	2,6	0,3	0,7	48,7	4,0	1,2
0,10-0,20	4,9	10,0	0,2	1,7	0,6	0,1	2,7	48,5	2,4	0,3	0,8	50,0	4,2	1,3
0,20-0,40	4,7	2,5	54,9	1,1	0,4	0,2	2,7	37,8	2,3	0,3	0,6	46,2	1,9	0,6

Fonte: Do autor (2021)

Tabela 1 - Conteúdo de areia, silte e argila total do Latossolo Vermelho Amarelo em diferentes profundidades.

Prof.	Areia	Silte	Argila	Classificação textural
m	g kg ⁻¹			
0,0-0,2	382	196	422	Argilosa
0,2-0,4	432	148	420	Argilosa

Fonte: Do autor (2021)

Tabela 2 - Análise química do calcário utilizado para a realização do experimento.

RE	PN	PRNT	CaO	MgO
%				
89	99	88	37	15

Fonte: Do autor (2021)

3.2 Delineamento experimental e condução do experimento em campo

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da aplicação de 5 doses de calcário, aplicadas em superfície (0, 2, 4, 6 e 8 Mg. ha⁻¹), totalizando-se 20 parcelas. O calcário foi distribuído pelo equipamento Bruttus®, para que houvesse menor deriva e perda do corretivo durante a implantação do experimento. Cada parcela possuía área equivalente à 10 m de largura (correspondente a duas passadas do distribuidor de calcário Bruttus®) por 20 metros de comprimento, sendo que a parcela útil possuía a 3 linhas, com espaçamento de 0,5 m, e 5 m de comprimento.

O experimento foi implantado em 10/09/2019 pela demarcação da área e aplicação do calcário. Para o presente trabalho foram analisados os dados referentes à cultura do feijão, semeado no segundo ano de cultivo da área. Na Tabela 4 é apresentado o histórico de cultivos realizado na área desde a instalação do experimento.

Tabela 4 – Histórico de cultivos na área desde a instalação do experimento até o ano de 2021.

Safra	Cultura	Cultivar/híbrido	Adubo(plantio)	Dose (plantio)	Adubo (cobertura)	Dose (cobertura)
19/20	Soja	BMX Lança	11-52-00	170 kg .ha ⁻¹	KCl	220 kg .ha ⁻¹
20/20	Milho	M30A37	13-33-00 + S15	220 kg .ha ⁻¹	45-00-00	250 kg .ha ⁻¹
20/21	Feijão	Ouro da Mata	13-33-00 + S15	120 kg .ha ⁻¹	KCl e 45-00-00	300 e 250 kg .ha ⁻¹

Fonte: Do autor (2021)

A cultivar Ouro da Mata foi semeada de forma mecânica no dia 19/10/2020, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, com 12 sementes por metro, totalizando uma densidade de semeadura de 240.000 plantas por hectare. 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 dia 03/12/2020, quando o feijoeiro se encontrava no estádio R6 (floração - primeira flor aberta), sendo coletado o terceiro trifólio de cima para baixo, coletando-se também toda a folha com pecíolo, de acordo com os procedimentos descritos por Malavolta et al. (1997). Em seguida, as amostras de folha foram colocadas para secar em estufa a 65°C até atingirem massa constante, sendo moídas posteriormente. Posteriormente também foram determinadas as concentrações de Mn, Zn, B, Cu e Fe nas folhas, 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 dia 14/01/2021, nas profundidades de 0,0 - 0,1; 0,1 - 0,2; e 0,2 - 0,4 m, após a colheita do feijoeiro. Seguiram-se as recomendações para SPD do “Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná” (PAVINATO et al., 2017). Determinaram-se os valores de pH, teores de Ca, Mg e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B), de acordo com procedimentos descritos por Silva (2009). As extrações de Fe, Zn, Mn e Cu foram feitas com o extrator Mehlich⁻¹; Ca e Mg pelo KCl 1 mol L⁻¹ e B foi extraído por água quente.

3.4 Análise Estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância e quando os resultados foram significativos para o teste F, adotaram-se os procedimentos para a análise de regressão, de acordo com Ramalho et al. (2012).

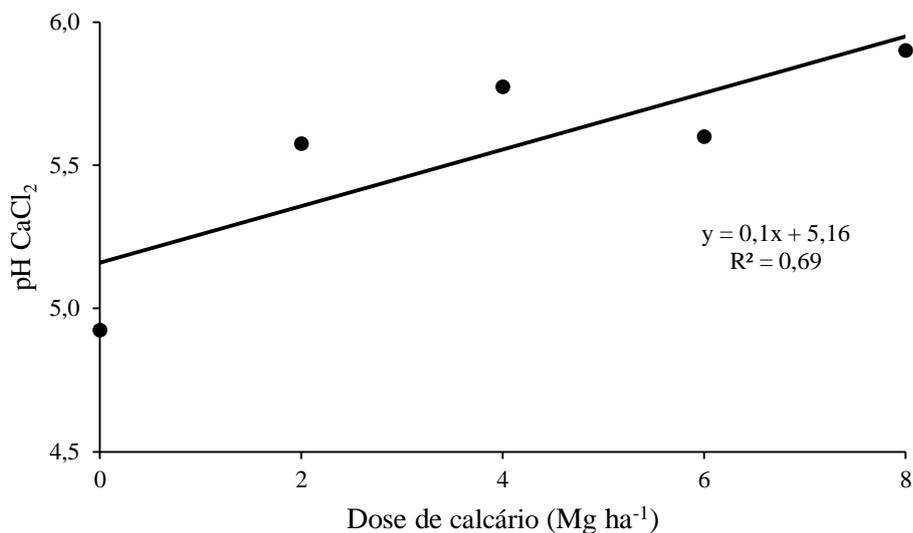
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente serão apresentados os efeitos dos tratamentos nos valores de pH e teores de micronutrientes no solo. Posteriormente, serão discutidos os efeitos nos teores de micronutrientes nas folhas e na produtividade do feijoeiro.

4.1 pH

Observou-se um aumento linear significativo nos valores de pH CaCl_2 na camada de 0,0 a 0,1 m, em função das doses de calcário aplicadas em superfície (Figura 2). No entanto, os valores de pH CaCl_2 não ultrapassaram 6,5, mesmo na maior dose de calcário. É importante ressaltar que o valor de pH em H_2O geralmente é cerca de 0,6 unidade maior em relação ao pH em CaCl_2 (TOMÉ JUNIOR, 1997). Essa diferença pode chegar próximo de uma unidade em condições de solo ácido, porém, em solos próximos à neutralidade os valores podem ser equivalentes. Com isso, pode-se observar que os valores de pH ficaram dentro da faixa ideal para as culturas (PÖTTKER; BEN, 1998). Trata-se de um resultado previsível, devido à capacidade do calcário em alterar o pH do solo. O presente resultado corrobora com os encontrados por outros autores, os quais também observaram o aumento do pH na camada superficial após a aplicação de calcário em solo sob SPD (DA COSTA, 2016; CHAPLA, 2017).

Figura 2 - Efeito de diferentes doses de calcário no pH do solo na camada de 0,0 a 0,1 m.



Fonte: Do autor (2021)

Para as camadas de 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m não foram observados efeitos significativos no pH do solo (Tabela 5). O presente resultado corrobora com o trabalho realizado por Moreira et al. (2001), o qual também observou que o efeito de doses de calcário aplicadas em superfície

em solos argilosos fica restrito às camadas superficiais nos primeiros anos após aplicação. Alguns autores têm observado alterações nos valores de pH e nos teores de Ca e Mg em profundidade após longo tempo de aplicação (OLIVEIRA & PAVAN, 1996; CAIRES et. al, 1999). Isso mostra a importância da avaliação dos efeitos da calagem superficial a longo prazo.

Tabela 5 - Efeito de diferentes doses de calcário no pH do solo na camada de 0,1 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m.

Dose	0,1 a 0,2 m	0,2 a 0,4 m
Mg. ha ⁻¹	----- pH CaCl ₂ -----	
0	4,7	4,6
2	4,9	4,7
4	5,1	4,8
6	5,0	4,9
8	5,0	4,8
Efeito	NS	NS
R ²	-	-

NS: não-significativo

Fonte: Do autor (2021)

4.2 Micronutrientes no solo

Os teores de B nas camadas de 0,0 a 0,10 m e 0,1 a 0,2 m variaram de 0,2 a 0,5 mg dm³ (Tabela 6), permanecendo-se dentro da faixa de tores baixo a médio (ALVAREZ, 1999). Por sua vez, os teores de Cu nas camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 permaneceram dentro da faixa de teores médios (ALVAREZ, 1999). As doses de calcário aplicadas não influenciaram na disponibilidade de Cu e B no solo. Moreira et al. (2017) também observaram pouco efeito das doses de calcário nos teores de B e Cu de solos do Estado do Paraná, após a aplicação de calcário superficial. No presente trabalho, provavelmente não houve redução significativa desses nutrientes devido ao fato do pH em CaCl₂ ter se mantido dentro da faixa ideal, mesmo na dose de 8 Mg ha⁻¹ (Figura 2).

Tabela 6 - Efeito da calagem nos teores de micronutrientes do solo, na camada de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m.

Dose	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Mg. ha ⁻¹	mg dm ⁻³				
Camada de 0,0 a 0,1 m					
0	0,2	1,0	61,9	6,4	1,7
2	0,4	1,1	61,9	5,8	1,6
4	0,3	1,1	57,8	6,7	1,8
6	0,3	1,0	56,0	6,2	1,4
8	0,2	1,0	52,2	6,8	1,5
Efeito	NS	NS	Y=63 - 1,27X	NS	NS
R ²	-	-	0,94	-	-
Camada de 0,1 a 0,2 m					
0	0,3	1,0	60,4	4,8	1,3
2	0,4	0,9	59,3	4,0	1,2
4	0,3	1,1	60,3	5,6	1,6
6	0,5	1,0	59,2	4,9	1,2
8	0,3	1,0	56,4	5,2	1,5
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS
R ²	-	-	-	-	-

NS: não-significativo

Fonte: Do autor (2021)

A calagem teve efeito linear na redução do Fe na camada de 0,0 a 0,1 m. É esperado que os teores de Fe²⁺ seja reduzido e as formas oxidadas de ferro aumentadas devido ao aumento do pH (ROTHON, 2000). Porém, os teores em ambas as camadas se encontram acima de 45 mg dm³, que segundo Alvarez (1999) trata-se de um teor alto no solo. Ou seja, mesmo na dose de 8 Mg ha⁻¹, a disponibilidade não foi afetada, pois o nutriente ainda continuou dentro da faixa adequada.

Os teores de Mn na camada de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m variaram de 5,8 a 6,8 mg dm³ e 4,0 a 5,2 mg dm³, respectivamente. Segundo Alvarez (1999), esses valores estão entre a faixa de teores baixos a médio. Por sua vez, o teor de Zn nas camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m, variaram entre 1,4 e 1,7 mg dm³ e 1,2 e 1,5 mg dm³, respectivamente. Esses valores encontram-se dentro da faixa de teor médio a bom (ALVAREZ, 1999). A calagem não afetou a disponibilidade tanto para o Mn quanto para o Zn.

4.3 Micronutrientes na folha

Os teores de B, Cu, Mn e Zn não foram influenciados pelas doses de calcário aplicado em superfície (Tabela 7). Resultado esperado, devido ao fato de os teores desses micronutrientes no solo não terem sido influenciados pelas doses de calcário (Tabela 6).

Tabela 7- Concentração de micronutrientes nas folhas de feijão em função de doses crescentes de calcário

Dose	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Mg. ha ⁻¹	mg dm ⁻³				
0	39,7	289,3	254,5	231,0	49,9
2	35,8	325,0	284,9	251,5	50,3
4	37,8	285,5	260,8	232,5	52,0
6	44,0	350,9	341,0	283,6	59,4
8	36,3	307,9	262,1	253,1	50,0
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS
R ²	-	-	-	-	-

NS: não-significativo

Fonte: Do autor (2021)

Observa-se que as doses de calcário não tiveram efeito nos teores de Fe nas folhas do feijoeiro, diferentemente dos resultados obtidos no solo (Tabela 6). Isso pode ser explicado devido ao fato de que mesmo na dose de 8 Mg ha⁻¹, os valores de Fe, segundo Alvarez (1999) terem permanecido dentro da faixa de alto teor do nutriente no solo.

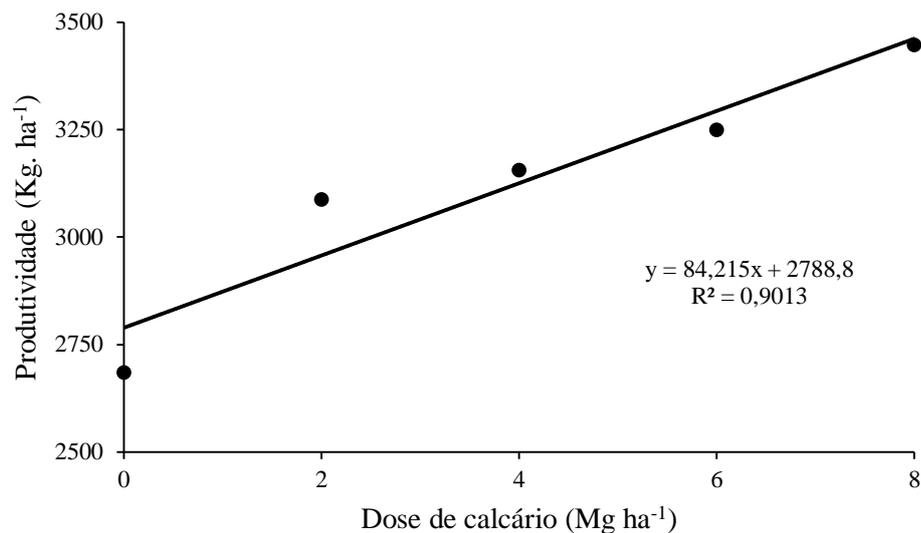
O presente resultado corrobora com estudo realizado por Fonseca et. al (2010), no qual foi observado que os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no tecido foliar do trigo não foram afetados pela calagem superficial. Moreira et. al (2017) sugerem que as doses de calcário atualmente utilizadas em áreas sob SPD não necessariamente condizem com deficiência de micronutrientes.

4.4 Produtividade

Foi observado um efeito linear positivo para a produtividade do feijoeiro em função do aumento das doses do calcário aplicado em superfície (Figura 3). Comparando-se a dose de 8 Mg ha⁻¹ com o controle, houve um incremento de 28% na produtividade do feijoeiro. É importante ressaltar que nessa mesma dose, a saturação por bases (V%) foi de 65,4%, ou seja, 25% maior em relação à V% do tratamento sem aplicação de calcário (Figura 4). Tal fato evidencia a importância de se elevar a participação de Ca e Mg na CTC.

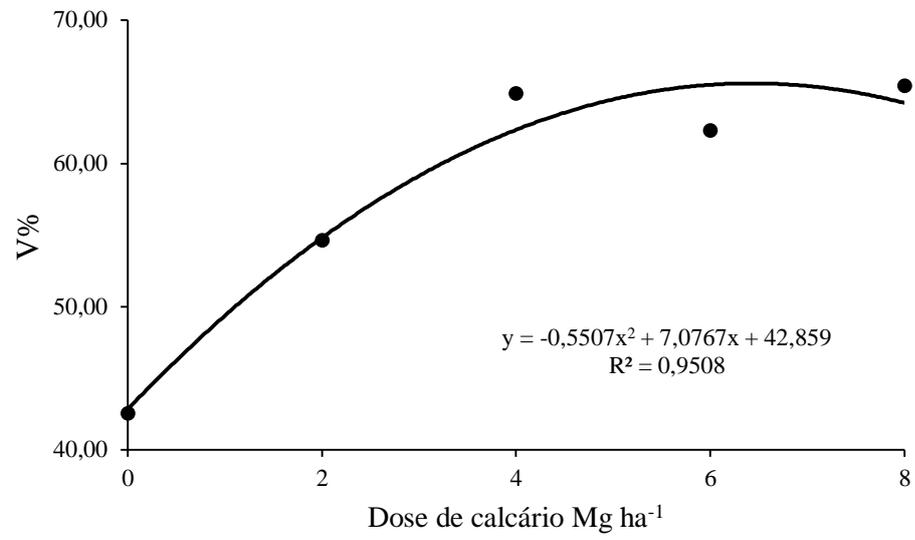
Em trabalho realizado por Moreira et. al (2001), não foi observado aumento em produtividade em função da calagem em solo sob SPD, no entanto, o solo possuía maiores teores de Ca e Mg em relação às condições do presente trabalho. Os resultados obtidos corroboram com o trabalho realizado por Rodrighero et al. (2015), onde foi observado o aumento da produtividade de grãos de soja e milho com a maior dose aplicada em relação ao controle. Abordando sobre o método envolvido para recomendação de calagem em superfície, caso a necessidade de calagem fosse calculada como proposto pelo boletim do estado de Minas Gerais (5° aproximação), não seria recomendada a aplicação do corretivo. Isso evidencia a necessidade de atualização do método de recomendação do Estado de Minas Gerais e o desenvolvimento de novos trabalhos com as diferentes culturas.

Figura 3 – Produtividade do feijoeiro em função de doses crescentes de calcário.



Fonte: Do autor (2021)

Figura 4 – Efeito da calagem superficial na saturação por bases (camada de 0,0 a 0,1m).



Fonte: Do autor (2021)

5 CONCLUSÃO

Com o aumento das doses de calcário aplicado em superfície foi observado um efeito linear negativo no teor de Fe no solo, porém o mesmo manteve dentro da mesma faixa de disponibilidade. Não foi observado efeito para os demais micronutrientes.

A diferentes doses da calagem superficial não tiveram efeito na concentração dos micronutrientes no tecido foliar.

Houve um incremento de 28% na produtividade do feijão, com a dose de 8 Mg ha⁻¹, quando comparado a testemunha.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S.; SANTOS, G.C.G. **Fertilidade do solo**: Micronutrientes. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Cap. 10, p. 1017, 2007.
- AIRES, 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.
- ALVAREZ V., V., H., RIBEIRO, A. C. **Calagem In**: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, p. 359, 1999.
- 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.
- CAIRES, E. F. **Correção da acidez do solo em sistema plantio direto**. Informações agronômicas, n. 141, p. 1–13, 2013
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A. & MADRUGA, E. F. **Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto**. R. Bras. Ci. Solo, 23:315-327, 1999.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. **Uso de corretivos granulados na agricultura**. IPNI-International Plant Nutrition Institute, Piracicaba-SP, n. 154, p. 17-21, 2016.
- CAIRES, E.F.; 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.
- CAMBRI, M. A. **Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo
- Fernandes, C. H. S.; Tejoa, D. P.; Arruda, K. M. A.; **Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil**: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. UNICIÊNCIAS, v. 23, n. 2, p.83-88, 2019
- CHAPLA, M. E. **Calagem superficial em área de plantio direto**. Universidade Federal de Mato Grosso. 2017.
- COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. **The basic chemistry of soil acidity**. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., eds. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.
- DA COSTA, C. H. M; CRUSCIOL, C. A. C. **Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties**. European journal of agronomy, v. 74, p. 119-132, 2016.

DA FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. **Extraction methods and availability of 27 micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime.** Scientia Agricola, v. 67, n. 1, p. 60–70, 2010.

DENARDIN, J.E. et al. **Sistema plantio direto: evolução e implementação.** In: PIRES, J.L.M. et al. Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. cap.7, p. 185-215.

FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R. **Efficient crop production.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999.

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.

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.

MORAES, F. A. DE. **Doses de Calcário na Construção da Fertilidade do Perfil do Solo.** Universidade Federal de Lavras, 2019.

MORAES, F. A. DE.; MOREIRA, S. G.; **Incorporação de novas áreas ao sistema de produção de grãos: doses e corretivos de acidez.** Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo, 2020.

MOREIRA, S. G. et al. **Calagem em Sistema de Semeadura Direta e Efeitos sobre a Acidez do Solo, disponibilidade de Nutrientes e Produtividade de Milho e Soja.** Vol. 25. 2001

MOREIRA, S. G. **Desafios para a sustentabilidade dos sistemas de produção com culturas anuais.** Informações Agônomicas, NPCT, dez/19, p. 1-12, 2019.

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.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. **Controlo of acidity in no-tillage system soybean production.** Soil Till, 1996.

PAULETTI, V., **Equilíbrio entre bases do solo e produtividade das culturas.** Informações Agrônomicas NPCT, v. Set/20, p. 1-12, 2020.

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

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.

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

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

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

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.

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.

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.

SANZONOWICZ, C. **Deficiência de manganês em solos do cerrado**. Potafos, p. 7, 1995.

SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SOLOS, Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 2018. 356p.

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

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.

DA SILVA, T. R. B. ;Lemos, L. B. ; CRUSCIOL, C. A. C.; FIORENTIN, C. F. **Resposta de cultivares de feijoeiro comum à calagem superficial em semeadura direta**. Semana: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1281-1290, jul./ago. 2012

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

WIETHÖLTER, S. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 10ª ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004

YE, G. et al. **Long-term application of manure over plant residues mitigates acidification, builds soil organic carbon and shifts prokaryotic diversity in acidic Ultisols**. Applied Soil Ecology, v. 133, p. 24-33, 2019.

