

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

APLICAÇÃO DE DOSES ELEVADAS DE CALCÁRIO NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E NO DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS

GUSTAVO DIAS E SILVA

Rio Verde - GO

2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**APLICAÇÃO DE DOSES ELEVADAS DE CALCÁRIO NA
DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E NO
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS**

GUSTAVO DIAS E SILVA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. José Milton Alves

Rio Verde - GO

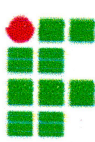
Agosto, 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586 Silva, Gustavo Dias e
a Aplicação de doses elevadas de calcário na
disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento
de plantas / Gustavo Dias e Silva; orientador José
Milton Alves. -- Rio Verde, 2023.
34 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. Calcário. 2. Nutrientes. 3. Doses elevadas. I.
Alves, José Milton, orient. II. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gustavo Dias e Silva

Matrícula: 2017102200240294

Título do Trabalho: Aplicação de doses elevadas de calcário na disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento de plantas

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 15/08/2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - Goiás, 15/08/2023.

Gustavo Dias e Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. José Milton Alves
Área Fertilidade de Solo

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 37/2023 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 11 dias do mês de agosto de 2023, às 14 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Dr. José Milton Alves (orientador), Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão (UniRV); Dr. Álefe Viana Souza Bastos (Terram) e Dr. Matheus Vinícius Abadia Ventura (UniBRAS) para avaliar o Trabalho de Curso intitulado "Aplicação de doses elevadas de calcário na disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento de plantas" do estudante Gustavo Dias e Silva do Curso de Agronomia do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao discente para a apresentação oral do TC e houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelo orientador e pelos demais membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Dr. José Milton Alves

Orientador

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alefe Viana Souza Bastos, Alefe Viana Souza Bastos - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Central do Saber Soluções Pedag. e Tecn. Ltda - Epp (1)**, em 14/08/2023 19:36:48.
- **Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão - Professor Avaliador de Banca - Fesurv - Universidade de Rio Verde (01815216000178)**, em 14/08/2023 08:19:02.
- **Matheus Vinicius Abadia Ventura, 2022102344060002 - Discente**, em 11/08/2023 20:00:56.
- **Jose Milton Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 11/08/2023 16:47:06.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/08/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 520396
Código de Autenticação: 5921931f46



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

RESUMO

SILVA, Gustavo Dias e. **Aplicação de doses elevadas de calcário na disponibilidade de nutrientes e no desenvolvimento de plantas**. 2023. 34p. Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2023.

Os solos brasileiros possuem como característica natural baixos níveis de pH, o que resulta em uma menor disponibilidade dos nutrientes para diversas culturas, aliado a altos teores de alumínio trocável que é um fator de risco para as plantas por ser tóxico, afetando principalmente o desenvolvimento do sistema radicular. Para correção desses problemas é necessário realizar a aplicação de calcário em doses particulares para cada área, entretanto, há situações em que essas quantidades ultrapassam a necessidade real do solo, podendo resultar em problemas no sistema produtivo. Sendo assim, objetivou-se avaliar através da revisão de literatura, os efeitos da aplicação de doses de calcário em quantidades acima das recomendadas, analisando a influência nos nutrientes do sistema solo-planta em diferentes situações de manejo. Após avaliação dos trabalhos apresentados foi possível observar pouca influência em relação a decréscimos nos teores dos nutrientes tanto no tecido foliar das plantas quanto no solo, visto que ainda se mantiveram em níveis adequados mesmo com a utilização das doses acima da recomendada pelo método da saturação por bases. Esse efeito nos teores depende da concentração do nutriente no solo e do pH resultante após a dose de calcário utilizada. Entretanto, os ganhos em produtividade observados não foram tão expressivos, havendo a necessidade de um melhor entendimento sobre a efetividade dessas dosagens.

Palavras-chave: Calcário, nutrientes, doses elevadas.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 7 |
| 2.1 Zinco..... | 7 |
| 2.2 Manganês..... | 9 |
| 2.3 Ferro..... | 11 |
| 2.4 Cobre..... | 12 |
| 2.5 Nitrogênio..... | 14 |
| 2.6 Fósforo..... | 16 |
| 2.7 Potássio..... | 18 |
| 2.8 Enxofre..... | 20 |
| 2.9 Cálcio..... | 23 |
| 2.10 Magnésio..... | 25 |
| 2.11 Biomassa Microbiana no Solo (BMS)..... | 27 |
| 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 29 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 30 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é responsável por alimentar grande parte da população mundial, visto que possui um potencial ainda maior de desenvolvimento na agricultura. Dados da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) mostram que será necessário aumentarmos a produção agrícola em 60% até o ano de 2050, em que estima-se uma população mundial de 9 bilhões de pessoas (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012).

De acordo com as pesquisas em fertilidade do solo descobriu-se a importância da utilização do calcário nos solos brasileiros, devido ao fato de possuírem alta acidez e baixos teores de nutrientes. Com a calagem em doses adequadas eleva-se o pH do solo, ocorre a neutralização do alumínio e adição de cálcio e magnésio, proporcionando condições favoráveis ao crescimento do sistema radicular das culturas (ZANDONÁ et al., 2015). Essa adequação do pH e o equilíbrio entre os teores de bases no solo, proporcionam uma adequada disponibilidade da maioria dos nutrientes para as plantas (OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, também diminui a precipitação do P com o Al trocável, em função da complexação do Al^{3+} , promovida pelos grupos hidroxila liberados durante a calagem (CARDOSO et al., 2015). A aplicação de calcário é, nesse contexto, uma tecnologia fundamental para que as plantas consigam expressar seu máximo potencial produtivo, alcançando produtividades que tornem seu cultivo cada vez mais econômico e rentável (NATALE et al., 2012).

Por outro lado, se aplicado em excesso, o calcário pode ocasionar diversos problemas como a redução na atividade microbiana do solo, redução na disponibilidade de micronutrientes metálicos, redução na disponibilidade de fósforo devido a ligação com o cálcio e redução na disponibilidade de potássio devido ao desequilíbrio na relação entre cálcio e magnésio, afetando negativamente a produtividade da cultura implantada. A calagem em excesso é tão prejudicial quanto a alta acidez no solo, sendo que sua correção é ainda mais difícil de ser realizada. Vários fatores devem ser levados em consideração durante a recomendação da dose de calcário para evitar esses problemas: Poder tampão do solo avaliado, CTC efetiva, histórico da área, acidez ativa (pH), modo de aplicação (superficial ou incorporado), realização da análise de solo em laboratório certificado e cuidados durante a aplicação como a regulagem correta do distribuidor. Mediante a essas observações é importante destacar que todo tipo de solo está sujeito a supercalagem, se a operação for realizada de maneira inadequada.

Sendo assim, objetivou-se avaliar através da revisão de literatura, os efeitos da aplicação de doses de calcário em quantidades acima das recomendadas, analisando a influência nos nutrientes do sistema solo-planta em diferentes situações de manejo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Zinco (Zn)

O zinco assume um papel crucial em algumas funções celulares básicas, como no metabolismo de proteínas e do ácido indolacético (TIONG et al., 2015). É constituinte de inúmeras moléculas nas plantas, por isso sua deficiência provoca perturbações principalmente nas atividades das enzimas envolvidas na fixação de carbono, durante o processo de fotossíntese (HANSCH; MENDEL, 2009). Diante dessa relevância, são apresentados a seguir trabalhos mostrando os efeitos que altas doses de calcário resultam no comportamento do zinco no sistema.

Em um trabalho realizado por Rodrighero et al. (2015) utilizando doses crescentes de calcário dolomítico foi constatado decréscimo nos teores foliares de zinco em soja até a dose acima da recomendada. O corretivo foi aplicado superficialmente 1 ano antes do plantio em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa, sendo que a dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70% correspondia a 4,5 t ha⁻¹. Para avaliar os efeitos do excesso de calcário na cultura efetuou-se a aplicação de uma dose representada por 6,75 t ha⁻¹. Foi observado redução das concentrações de zinco no tecido foliar da soja até essa maior dose, uma vez que a concentração do nutriente se encontrava em 29,3; 27,3; 25,9 e 24,9 mg kg⁻¹ após aplicação das doses de 0; 2,25; 4,5 e 6,75 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Mesmo que tenha ocorrido essa alteração, os teores se mantiveram em níveis adequados para o desenvolvimento da cultura em todos os tratamentos. De acordo com as equações de regressão ajustadas a produtividade máxima seria obtida na dose de 4 t ha⁻¹, com acréscimo de 8% de soja comparado a ausência da calagem, em que foi possível observar um efeito quadrático entre o aumento das doses do corretivo e o rendimento da cultura. Esse mesmo autor obteve resultados semelhantes em relação ao zinco na cultura do milho, em que foi semeado em um Neossolo Litólico Húmico de textura franco-arenosa. Para execução do experimento avaliou-se a produtividade e a absorção de nutrientes pelas plantas após aplicação superficial de doses correspondentes a 0; 2,6; 5,2 e 7,8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. O milho foi semeado aproximadamente 1 ano após a aplicação do calcário, uma vez que a dose de 5,2 t ha⁻¹ foi recomendada para elevar a saturação por bases a 70%. Nesse trabalho foi observado redução de 28,3 mg kg⁻¹ de zinco foliar na ausência de calcário para 23,4; 20,7 e 18,6 mg kg⁻¹ nas doses de 2,6; 5,2 e 7,8 t ha⁻¹, respectivamente. Mesmo que houve redução na absorção de zinco pelas

plantas a produtividade do milho aumentou linearmente em função das doses de calcário na ordem de 12% com a dose mais alta de 7,8 t ha⁻¹. Um outro trabalho utilizando doses de 0, 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹ foi realizado por Barbosa Filho e Silva (2000), em que também foi observado decréscimo na absorção de zinco por plantas de feijão em função do aumento das doses de calcário. Antes da aração e de duas gradagens, e da instalação dos experimentos foi realizada a análise química do solo. Constatou-se que através do método da saturação por bases seria necessário 3 t ha⁻¹ para elevar a saturação a 70%. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura franco-argilosa e a avaliação da absorção dos nutrientes ocorreu com a retirada das plantas no momento da floração. A quantidade de zinco removida pelo feijoeiro na parte aérea (caule + folhas) foi de 171 g ha⁻¹ na ausência de calagem para 156 g ha⁻¹ na maior dose de 15 t ha⁻¹ do corretivo, evidenciando o decréscimo no teor do nutriente nos diferentes tratamentos. Esse efeito não foi suficiente para causar queda na produtividade na cultura, em que houve aumento linear com as doses de calcário aplicadas, partindo de 2.423 kg ha⁻¹ na dose recomendada de 3 t ha⁻¹ para 2.767 kg ha⁻¹ na maior dose de 15 t ha⁻¹. Após 110 e 362 dias de aplicação, as maiores saturações por bases de 53 e 60%, foram encontradas na dose de 15 t ha⁻¹, visto que nesse período a dose recomendada de 3 t ha⁻¹ resultou nas saturações de 30 e 33%. Mesmo se considerar o curto espaço de tempo de 110 dias de reação que o calcário teve com o solo, as doses de 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹ resultaram respectivamente, em um aumento de 19%, 19%, 29%, 29% e 37% no rendimento da cultura. Em um trabalho realizado por Besen et al. (2017) avaliando os efeitos da aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 75%) em micronutrientes de um Latossolo Vermelho Distroférico, foi constatado decréscimo nos teores de zinco em função do aumento das doses do corretivo. Os resultados avaliados 2 anos após a calagem superficial mostraram que os teores reduziram de 2,6 mg dm⁻³ na ausência da calagem para 1,7 mg dm⁻³ na maior dose de 5,5 t ha⁻¹.

No trabalho realizado por Fageria e Stone (2004) os teores de zinco não foram influenciados no solo pela alta dose de calcário dolomítico (PRNT 88%). Nesse estudo observou-se a necessidade de 12 t ha⁻¹ de calcário aplicado superficialmente com posterior incorporação com grade para se obter a produtividade máxima na cultura do feijão. Essa resposta a alta dose de calcário pode ter ocorrido devido ao alto teor de argila do solo associado a cultivar de alto potencial produtivo. No entanto, de acordo com o método da saturação por bases para elevar a V% a 70, a dose calculada era de 3 t ha⁻¹ e apenas na dose de 12 t ha⁻¹ se chegou as saturações de 72% e 40%, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Durante o plantio, foram aplicadas diferentes doses de zinco nos tratamentos para avaliar se haveria influência com as altas doses de calcário nas plantas, entretanto, não foi

observado efeito significativo devido aos teores no solo já se encontrarem em níveis adequados. A calagem ocorreu 5 meses antes do plantio em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, e não foi constatado alteração significativa nos teores de zinco no solo para causar queda de produtividade, resultando em um excelente desenvolvimento na cultura. Podemos perceber que há sim uma tendência em redução dos teores de zinco em situações que o pH do solo esteja elevado, entretanto, trabalhos como os de Moreira et al. (2016) e de Teixeira et al. (2003) evidenciaram altos teores de Zn nas camadas superficiais de solos sob sistema plantio direto, mesmo quando o pH estava alto.

2.2 Manganês (Mn)

O manganês é o segundo micronutriente mais abundante em solos tropicais, perdendo apenas para o ferro. Ele desempenha um importante papel em diversos processos vitais das plantas como na fotossíntese, respiração, eliminação de espécies reativas de oxigênio, sinalização de hormônios, entre outros (ALEJANDRO et al., 2020). Sendo assim, a seguir são apresentados trabalhos mostrando os efeitos que altas doses de calcário resultam no comportamento do manganês no sistema.

Em um trabalho realizado por Pessoni (2012) utilizando doses de 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹ de calcário dolomítico aplicado superficialmente em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de classe textural argilo-arenosa, foi constatado redução nos teores foliares de manganês em plantas de soja. A alteração partiu de 77 mg kg⁻¹ na dose de 3 t ha⁻¹ de calcário para 67 mg kg⁻¹ na maior dose de 12 t ha⁻¹. Todavia, mesmo com essa alteração, os teores se mantiveram adequados para o desenvolvimento da cultura. Nesse trabalho foi avaliado também os efeitos da associação dessas doses de calcário (PRNT 70%) com diferentes doses de gesso, entretanto os resultados aqui apresentados são na ausência da gessagem. Como a dose de 12 t ha⁻¹ foi recomendada para a profundidade de 1 m no solo, o calcário certamente ficou concentrado na camada mais superficial. O melhor a se fazer seria incorporar até a profundidade recomendada, o que nesse caso é impossível, ou analisar o perfil de solo anualmente e realizar a recomendação para a camada de 0-20 cm, com posterior aplicação de gesso para locomoção das bases em profundidade. As doses foram estabelecidas utilizando o método da saturação por bases, visando chegar a 80% para a camada de 0-20 cm e a 50% nas demais camadas até 1 m de profundidade. Posteriormente, foi efetuado a somatória das doses resultando na dose total de 12 t ha⁻¹ de calcário. As demais doses corresponderam a 3 t ha⁻¹, a metade e a 75% da dose

total. A calagem ocorreu a lanço em novembro e posteriormente a soja semeada em dezembro do mesmo ano e em novembro do ano seguinte. Foi possível observar que houve aumento da produtividade no primeiro ano em relação as doses de 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹ de calcário, visto que correspondeu a 2.014, 2.240, 2.253 e 2.590 kg ha⁻¹, respectivamente. No trabalho realizado por Alleoni et al. (2005), foi observado redução nos teores de manganês em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa após 6 meses da aplicação superficial de calcário dolomítico (PRNT 78%) em doses de até 7,8 t ha⁻¹. Essa dose foi maior do que a utilizada no segundo tratamento de 4,9 t ha⁻¹, que já seria suficiente para elevar a saturação por bases a 70%, considerada adequada para a maioria das culturas. Na profundidade de 0-5 cm os teores de Mn foram reduzidos de aproximadamente 4 mg dm⁻³ na ausência de calagem para 2 mg dm⁻³ na dose de 7,8 t ha⁻¹. Na profundidade de 5-10 cm a redução foi de 2,2 mg dm⁻³ para 1,5 mg dm⁻³, e na profundidade de 10-20 cm a alteração foi de 1,8 mg dm⁻³ para 1,5 mg dm⁻³. Mesmo que tenha ocorrido decréscimo nos teores do nutriente com o aumento das doses de calcário, não chegaram a se encontrar em nível considerado baixo. Barbosa Filho e Silva (2000) também observaram redução na absorção de manganês em seu trabalho avaliando plantas de feijão, após aplicação de altas doses de calcário correspondentes a 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹. Antes da aração e de duas gradagens, e da instalação dos experimentos foi realizada a análise química do solo. Constatou-se que através do método da saturação por bases seria necessário 3 t ha⁻¹ para elevar a saturação a 70%. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura franco-argilosa, onde a avaliação da absorção dos nutrientes e da produção de grãos ocorreu com a retirada das plantas no momento da floração e da colheita. A quantidade de manganês removida pelo feijoeiro na parte aérea (caule + folhas) foi de 210 g ha⁻¹ na dose recomendada para 161 g ha⁻¹ na maior dose de 15 t ha⁻¹ do corretivo, evidenciando o decréscimo no teor do nutriente nos diferentes tratamentos. Esse efeito negativo na disponibilidade de Mn não foi suficiente para causar queda na produtividade da cultura, em que houve aumento linear com as doses de calcário aplicadas, partindo de 2.423 kg ha⁻¹ na dose recomendada para 2.767 kg ha⁻¹ na dose de 15 t ha⁻¹. Após 110 e 362 dias de aplicação as maiores saturações por bases de 53 e 60%, foram encontradas na dose de 15 t ha⁻¹, sendo que a dose recomendada de 3 t ha⁻¹ resultou nas saturações de 30 e 33% nesse tempo. Mesmo se considerar o curto espaço de tempo de 110 dias de reação que o calcário teve com o solo, as doses de 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹ resultaram respectivamente em um aumento de 19%, 19%, 29%, 29% e 37% no rendimento da cultura. Rodrighero et al. (2015) em seu trabalho realizou avaliações na cultura do milho após aplicação superficial de doses de calcário dolomítico em um Neossolo Litólico Húmico de textura franco-arenosa. Nesse trabalho foi

observado redução de 53,7 mg kg⁻¹ de manganês foliar na ausência de calcário para 42,2; 38,3; e 33,4 mg kg⁻¹ nas doses de 2,6; 5,2 e 7,8 t ha⁻¹, respectivamente. Para execução do experimento, a semeadura ocorreu aproximadamente 1 ano após a aplicação de calcário, sendo que a dose de 5,2 t ha⁻¹ foi recomendada para elevar a saturação por bases a 70%. Posteriormente, ocorreu a avaliação da produtividade e absorção de nutrientes nos diferentes tratamentos com doses de calcário. Mesmo que houve redução na absorção de manganês pelas plantas, de acordo com a equação de regressão ajustada a produtividade do milho aumentou linearmente em função das doses de calcário na ordem de 12% com a dose mais alta de 7,8 t ha⁻¹.

Há na literatura poucos trabalhos comprovando efeito contrário aos trabalhos avaliados, entretanto, em um estudo realizado por Soratto e Crusciol (2008) não houve decréscimo significativo na absorção de manganês por aveia preta quando aplicou-se doses de calcário em excesso. Os trabalhos avaliados acima confirmam a tendência de efeito no nutriente, em que de acordo com Sousa et al. (2007), ao aumentar o pH do solo observa-se uma redução na solubilidade de manganês, que em altas concentrações resulta em problemas de toxidez às culturas.

2.3 Ferro (Fe)

O ferro é um micronutriente essencial para as plantas, envolvido em vários processos fundamentais como na fotossíntese, respiração, fixação de nitrogênio e síntese de DNA e de hormônios (SAHRAWAT, 2004). Sendo assim, a seguir são destacados trabalhos apresentando os efeitos de altas doses de calcário no comportamento do ferro no sistema, visto que geralmente sua disponibilidade é reduzida em solos com pH alcalino.

Em um trabalho realizado por Maraschin et al. (2020) foi observado redução nos teores de ferro em dois tipos de solo após aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico em até 20 t ha⁻¹. O experimento foi realizado avaliando os atributos químicos de dois tipos de solo (Latosolo Vermelho Distrófico de textura média e Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa), em casa de vegetação após incubação por 40 dias do corretivo (PRNT 100%) em diferentes doses. As doses de 0; 0,5; 1; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15 e 20 t ha⁻¹ foram calculadas para a adequada quantidade nos recipientes com capacidade de 2 quilos, e homogeneizadas nas amostras de cada solo. De acordo com o aumento das doses de calcário ocorreu redução nos teores de ferro no solo, passando de 122,8 mg dm⁻³ na dose de 0 t ha⁻¹ para 47,6 mg dm⁻³ na

dose de 20 t ha⁻¹ no solo de textura média. O comportamento foi semelhante no Latossolo de textura argilosa, passando de 145,4 mg dm⁻³ na dose de 0 t ha⁻¹ para 63,9 mg dm⁻³ na dose de 20 t ha⁻¹. Como apresentado por Freitas et al. (2017) e Oliveira et al. (2015) o ferro pode ter sua disponibilidade reduzida após elevação do pH para valores próximos ao nível básico, em que essa situação geralmente ocorre em função do aumento da quantidade de calcário. Já Borin et al. (2013) utilizando doses de calcário (PRNT 65%) em excesso caracterizadas por 1,5 e o dobro da dose recomendada, observou pouca influência nos teores de ferro em plantas de algodão. A quantidade de calcário de 2 t ha⁻¹ foi recomendada utilizando o método de saturação por bases com o objetivo de se chegar a 70% de saturação no solo. O experimento foi realizado através da aplicação superficial sem incorporação de diferentes doses de calcário dolomítico correspondentes a 1 , 2 , 3 e 4 t ha⁻¹, com posterior avaliação nutricional das plantas e suas respectivas produtividades. Nesse trabalho, mesmo utilizando o dobro da dose recomendada não houve alteração significativa nos teores de ferro nas folhas das plantas, visto que se manteve em média de 82,65 mg kg⁻¹ entre as doses de calcário aplicadas, se mantendo adequado em todos os tratamentos. No primeiro ano após a calagem a saturação por bases de 70% só foi alcançada com a aplicação de 1,5 a 2 vezes a dose recomendada na camada de 10-20 cm. Na dose recomendada a produtividade de fibras foi de 2.584 kg ha⁻¹, comparado a 2.610 kg ha⁻¹ e 2.518 kg ha⁻¹ nas doses de 3 e 4 t ha⁻¹ de calcário. Em relação a produtividade do algodão em caroço, os resultados foram de 5.570 , 5.635 e 5.398 kg ha⁻¹ nas doses de 2 , 3 e 4 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente.

2.4 Cobre (Cu)

O cobre é considerado um micronutriente essencial para as plantas por ser constituinte e ativador de diversas enzimas (BURKHEAD et al., 2009). No entanto, quando em excesso, pode afetar negativamente o crescimento e o metabolismo das plantas (FIDALGO et al., 2013). Mediante a essas informações, são apresentados a seguir trabalhos sobre os efeitos de altas doses de calcário no comportamento do cobre no sistema.

Em uma pesquisa realizada por Caires et al. (2006) utilizando doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 82%) aplicado superficialmente em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilo-arenosa, não foi constatado alteração significativa nos teores foliares de cobre em plantas de soja após aplicação de uma dose acima da recomendada. A cultura foi avaliada 2 anos após a aplicação do corretivo, sendo realizados 4 tratamentos,

compostos por doses de calcário correspondentes a 0; 2,5; 5 e 7,5 t ha⁻¹ aplicadas a lanço. De acordo com o método de saturação por bases a dose de 5 t ha⁻¹ foi recomendada para elevar a saturação a 70%. O teor foliar de cobre se manteve na média de 11,9 mg ha⁻¹ entre todas as doses utilizadas, sendo que a produtividade na dose recomendada foi de 4.267 kg ha⁻¹ e na dose de 7,5 t ha⁻¹ foi de 4.006 kg ha⁻¹. No trabalho realizado por Borin et al. (2013) observou-se resultado semelhante, em que não houve influência significativa nos teores de cobre em plantas de algodão, após aplicação de doses de calcário (PRNT 65%) em excesso caracterizadas por 1,5 e o dobro da dose recomendada. O experimento foi realizado através da aplicação superficial sem incorporação de diferentes doses de calcário dolomítico correspondentes a 1, 2, 3 e 4 t ha⁻¹, com posterior avaliação nutricional e suas respectivas produtividades. A quantidade de calcário de 2 t ha⁻¹ foi recomendada utilizando o método de saturação por bases com o objetivo de se chegar a 70% de saturação no solo. Nesse trabalho mesmo utilizando o dobro da dose recomendada não houve alteração significativa nos teores de cobre nas folhas das plantas, visto que se manteve em média de 7,6 mg kg⁻¹ entre as doses de calcário aplicadas. Foi interessante observar que no primeiro ano após a calagem a saturação por bases de 70% só foi alcançada com a aplicação de 1,5 a 2 vezes a dose recomendada na camada de 10-20 cm. Nas camadas a baixo de 20 cm de profundidade não houve influência das doses de calcário nos atributos químicos do solo, provavelmente devido a baixa mobilidade do corretivo e o modo de aplicação superficial. Na dose recomendada a produtividade de fibras foi de 2.584 kg ha⁻¹, comparado a 2.610 kg ha⁻¹ e 2.518 kg ha⁻¹ nas doses de 3 e 4 t ha⁻¹ de calcário. Em relação a produtividade do algodão em caroço, os resultados foram de 5.570, 5.635 e 5.398 kg ha⁻¹ nas doses de 2, 3 e 4 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Nos trabalhos apresentados não foi observado redução considerável dos teores de cobre, mostrando que não são em todas as situações que esse efeito acontece, como discutido por Moreira et al. (2017) e Pegoraro et al. (2006).

2.5 Nitrogênio (N)

A maior parte do N (mais de 90%) está na fração orgânica do solo, a qual constitui um grande reservatório de formas mais prontamente disponíveis, como a nítrica e a amoniacal. Estas formas minerais, apesar de representarem pequena parcela do nitrogênio total, são de extrema importância, do ponto de vista nutricional, já que são elas as absorvidas pelos vegetais e micro-organismos (FAGERIA et al. 2011). Sendo assim, a seguir são apresentados trabalhos sobre os efeitos que altas doses de calcário resultam no comportamento do nitrogênio no sistema.

No trabalho realizado por Caires et al. (2006) utilizando doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 82%) aplicado superficialmente não houve alteração significativa nos teores foliares de nitrogênio em plantas de soja, se mantendo em nível adequado após aplicação de uma dose acima da recomendada. A cultura foi avaliada 2 anos após a aplicação do corretivo em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilo-arenosa, sendo realizados 4 tratamentos, compostos por doses de calcário correspondentes a 0; 2,5; 5 e 7,5 t ha⁻¹. De acordo com o método de saturação por bases a dose de 5 t ha⁻¹ foi recomendada para elevar a saturação a 70%. O teor foliar de nitrogênio se manteve na média de 56,1 g kg⁻¹ entre todas as doses utilizadas, sendo que a produtividade na dose recomendada foi de 4.267 kg ha⁻¹ e na dose de 7,5 t ha⁻¹ foi de 4.006 kg ha⁻¹. Foi avaliado também a cultura do milho após 1 ano de aplicação dessas mesmas doses de calcário, em que foi possível perceber o efeito similar nos teores de nitrogênio nas plantas. A maior dose de 7,5 t ha⁻¹ de calcário não influenciou os teores de nitrogênio no milho, se mantendo em média de 34 g kg⁻¹ entre todas as doses avaliadas, entretanto, a produtividade foi de 9.460 kg ha⁻¹ na dose recomendada e 9.300 kg ha⁻¹ na maior dose de calcário aplicada. Em outro trabalho realizado por Moraes (2019) também não foi observado influência significativa nos teores foliares de nitrogênio em feijoeiro após aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 77%). Nesse trabalho os teores se mantiveram adequados em todas as doses correspondentes a 0, 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹. Para execução do experimento, a calagem foi realizada 4 meses antes do plantio sob um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, com posterior incorporação utilizando grade pesada visando atingir até 40 cm de profundidade e por fim uma subsolagem. A análise de solo foi realizada na profundidade de 0-20 cm, após 6 meses da aplicação do corretivo, em que foi observado que os valores médios de pH (CaCl₂) não ultrapassaram 6,5 mesmo com a aplicação de 15 t ha⁻¹ de calcário. De acordo com o método da saturação por bases, seria necessário 1,6 t ha⁻¹ de calcário

para elevar a V% a 70 na camada de 0-20 cm. Pensando na multiplicação por 2 para se atingir a camada de 0-40 cm nesse experimento, seria necessário 3,2 t ha⁻¹. Na realidade, foi observado que apenas na dose de 9 t ha⁻¹ foram obtidos os valores médios de 70% de saturação por bases. Sendo assim, é possível perceber que há uma grande diferença entre a dose calculada pelo método oficial e a dose real para se atingir a V% desejada. Com relação a produtividade houve aumento significativo com as maiores doses de calcário. De acordo com a equação de regressão, a dose de 7,5 Mg ha⁻¹ seria adequada para se obter a produtividade máxima de feijão, resultando em um incremento de 18% na cultura. Resultado semelhante foi observado por Faria et al. (2003) em que uma dose de calcário maior do que a recomendada resultou em acréscimo na produção de tomate, lembrando que sempre deve ser avaliado a dose de maior eficiência econômica nessas situações. Em um trabalho realizado por Soratto e Crusciol (2008), ocorreu a avaliação da produção de fitomassa e o acúmulo de nutrientes pela aveia-preta após aplicação superficial de doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 71%). Foi observado efeito semelhante no comportamento do nitrogênio foliar na cultura, em que não houve influência nas concentrações do nutriente em nenhuma das doses de calcário utilizadas. O Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa em que foi realizado o experimento recebeu os tratamentos compostos por 0; 1,1; 2,7 e 4,3 t ha⁻¹ de calcário. Dessas doses, a de 1,1 t ha⁻¹ seria recomendada para elevar a saturação por bases a 50%, considerada adequada para a cultura. A aveia preta foi semeada no primeiro e no segundo ano após aplicação do calcário, em que foi observado pouca influência na produção da cultura entre as doses de calcário aplicadas. No primeiro ano após avaliação dos resultados a produção foi de 4.964, 4.994, 4.543 e 5.015 kg ha⁻¹ de matéria seca, nas doses de 0; 1,1; 2,7 e 4,3 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente. No segundo ano essas doses resultaram na produção de 6.316, 6.380, 6.322 e 6.009 kg ha⁻¹ de matéria seca. Podemos observar que a dose de 1,1 t ha⁻¹ resultou em uma produção semelhante à dose mais alta de calcário no primeiro ano, sendo que no segundo ano se saiu melhor em comparação ao excesso de calcário. Entretanto, em um experimento realizado por Bratti et al. (2012) utilizando plantas ornamentais conhecidas como palma-de-santa-rita, foi observado aumento na absorção de nitrogênio após aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 92%) em um Latossolo Vermelho Distroférrico. Para realização do experimento foi retirado uma porção a 20 cm de profundidade do solo com posterior homogeneização em vasos com capacidade de 5 L, nas diferentes doses do corretivo equivalentes a 0, 1, 2, 4 e 8 t ha⁻¹. De acordo com o método de saturação por bases e utilizando os resultados da análise de solo, seria necessário aproximadamente 2 t ha⁻¹ de calcário para elevar a saturação a 60%. A maior dose de calcário aumentou a absorção de nitrogênio pela

cultura, partindo de 8 g kg^{-1} de N foliar na dose de 2 t ha^{-1} de calcário para $12,9 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 8 t ha^{-1} . Todavia, mesmo que houve aumento na absorção de N pelas plantas, as doses superiores a 2 t ha^{-1} apresentaram efeitos negativos em características importantes como redução no comprimento da espiga floral e na absorção de K e Mg na dose de 8 t ha^{-1} , que de acordo com Tombolato (2004) estes nutrientes são responsáveis pela qualidade da haste floral.

2.6 Fósforo (P)

O fósforo apresenta uma grande importância no metabolismo das plantas, como no transporte de energia na célula, na fotossíntese e na respiração, fazendo parte dos ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoproteínas e coenzimas (MELO; MENDONÇA, 2019). Desse modo, o desenvolvimento das plantas pode ser limitado pela baixa disponibilidade de fósforo no solo (HINSINGER, 2001). A seguir são apresentados trabalhos sobre os efeitos de altas doses de calcário no comportamento do fósforo no sistema.

Em uma pesquisa realizada por Carneiro et al. (2018) foi observado aumento nos teores de fósforo disponível no solo em todas as doses de calcário acima da recomendada. Esse trabalho objetivou avaliar os efeitos de altas doses de carbonato de cálcio em atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura franco argilo-arenosa. Para realização do experimento foram coletadas porções do solo na camada de 0-20 cm de profundidade e homogêneas com as diferentes doses de calcário em sacos de polietileno. A incubação ocorreu durante 90 dias e posteriormente foi realizada a análise dos nutrientes. A supercalagem foi caracterizada pela aplicação excessiva de calcário equivalente a doses de 0, 1,5, 3, 4,5 e 6 t ha^{-1} , uma vez que a recomendação seria de apenas $0,29 \text{ t ha}^{-1}$. Essa menor dose recomendada provavelmente ocorreu devido ao solo do experimento possuir uma CTC extremamente baixa ($1,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Após a calagem foi observado aumento em cerca de $2,78 \text{ mg dm}^{-3}$ de P no solo por tonelada de calcário aplicado. O teor de fósforo passou de $8,99 \text{ mg dm}^{-3}$ para $25,60 \text{ mg dm}^{-3}$, em relação a ausência do calcário até a maior dose aplicada, respectivamente. Neste trabalho a disponibilidade desse nutriente foi aumentada em pH maior que 6,5, ao contrário de alguns estudos que citaram a precipitação do fósforo como fosfato de cálcio em pH acima de 6,5 (NDUWUMUREMYI, 2013), onde há redução de sua disponibilidade. Podemos perceber que esse nutriente pode ter diferentes comportamentos em relação ao aumento do pH. No trabalho executado por Caires e Fonseca (2000), foi observado aumento na absorção de fósforo por plantas de soja após aplicação superficial de doses de

calcário dolomítico (PRNT 84%) em até 6 t ha⁻¹. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura média, através da avaliação das respostas nutricionais da soja em um tratamento correspondente a ausência de calagem, outro com aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário, outro tratamento com a dose recomendada de 4 t ha⁻¹ para elevar a saturação por bases a 70% e por fim um tratamento com 6 t ha⁻¹ para avaliar a cultura na dose acima da recomendada. Apesar da análise de solo não ter revelado maior disponibilidade de fósforo no solo, observou-se no gráfico apresentado aumento significativo na absorção de P pela soja após a calagem. Esse efeito positivo na absorção do nutriente foi proporcional ao aumento do pH do solo até a profundidade de 20 cm. A análise de solo e a avaliação das plantas ocorreram após 3 anos da aplicação do calcário em área manejada com sistema de plantio direto, utilizando rotação de culturas entre soja, trigo, milho e aveia-preta. Avaliando os teores de fósforo em diferentes camadas do solo foi possível perceber pouca influência das doses de calcário, entretanto, foi observado maior concentração na camada superficial de 0-5 cm correspondente a média de 13,9 mg dm⁻³, e menores concentrações nas camadas de 5-10 e 10-20 cm (8,8 mg dm⁻³ e 3 mg dm⁻³, respectivamente). A produção de grãos foi de 2.702, 2.704, 2.860 e 2.685 kg ha⁻¹ para as doses de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente.

Resultado divergente foi encontrado por Rodrighero et al. (2015), em seu trabalho que utilizando doses crescentes de calcário dolomítico observou uma leve redução na absorção de fósforo pela soja na dose de calcário acima da recomendada. O corretivo foi aplicado superficialmente 1 ano antes do plantio em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa, sendo que a dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70% correspondia a 4,5 t ha⁻¹. Para avaliar os efeitos do excesso de calcário na cultura foi efetuado a aplicação de uma dose em excesso representada por 6,75 t ha⁻¹. Os teores do nutriente na planta apresentaram comportamento quadrático representado por 3,6; 3,7; 4,1 e 3,7 g kg⁻¹ nas doses de 0; 2,25; 4,5 e 6,75 t ha⁻¹, respectivamente. De acordo com as equações de regressão ajustadas a produtividade máxima seria obtida na dose de 4 t ha⁻¹, com acréscimo de 8% de soja comparado a ausência da calagem, em que foi possível observar também um efeito quadrático entre o aumento das doses do corretivo e o rendimento da cultura. Em um trabalho realizado por Biazatti et al. (2020) ocorreu a avaliação dos efeitos da incorporação de doses de calcário dolomítico (PRNT 76%) correspondentes a 0, 3, 6 e 12 t ha⁻¹ em atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa e na produção do capim Braquiária brizantha. A aplicação ocorreu em janeiro, posteriormente foi passada uma grade niveladora, em fevereiro ocorreu a semeadura da forrageira e após 1 ano de reação do corretivo foi realizado a coleta de solo até 20 cm de profundidade. Nesse trabalho houve a associação da

calagem com diferentes passadas de trator para observar a relação com a compactação, entretanto, os resultados apresentados são na ausência da compactação induzida. Foi constatado redução na disponibilidade de fósforo no solo na maior dose de 12 t ha⁻¹ de calcário. Até a dose de 6 t ha⁻¹ o solo apresentava 16 mg dm⁻³ de fósforo disponível, entretanto, ocorreu redução para 12 mg dm⁻³ na dose de 12 t ha⁻¹ de calcário. Esses resultados também foram evidenciados por Caires (2014), onde em seu trabalho afirma que o alto nível de pH influencia negativamente a disponibilidade de fósforo no solo. Mesmo ocorrendo menor disponibilidade do nutriente, a produção da forrageira aumentou em função das doses crescentes de calcário, sendo a maior produção média de 4 cortes representada por 10 toneladas de matéria seca na dose de 12 t ha⁻¹, em comparação a produção média de 7 toneladas de matéria seca na menor dose de 3 t ha⁻¹ de calcário.

2.7 Potássio (K)

O potássio presente nas plantas como o cátion K⁺, é um nutriente essencial devido as várias funções dentro da planta, a exemplo do controle osmótico e regulação da atividade enzimática da via glicolítica (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por intermédio dessas informações, a seguir são apresentados trabalhos sobre os efeitos que altas doses de calcário resultam no comportamento do potássio no sistema.

Em um trabalho realizado por Pessoni (2012) utilizando doses de 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹ de calcário dolomítico aplicado superficialmente em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de classe textural argiloarenosa, não houve influência significativa nos teores foliares de potássio em plantas de soja durante 2 anos de avaliação. Se mantendo no teor foliar médio de 17,3 g kg⁻¹ no primeiro ano entre as doses de calcário aplicadas, e apresentando média de 19,2 g kg⁻¹ no segundo ano. Todavia, os teores se mantiveram adequados em todo o período para o desenvolvimento da cultura. Nesse trabalho foi avaliado também os efeitos da associação dessas doses de calcário (PRNT 70%) com diferentes doses de gesso, entretanto os resultados aqui apresentados são na ausência da gessagem. Como a dose de 12 t ha⁻¹ foi recomendada para a profundidade de 1 m no solo, o calcário certamente ficou concentrado na camada mais superficial. As doses de calcário foram estabelecidas utilizando o método da saturação por bases, visando chegar a 80% para a camada de 0-20 cm e a 50% nas demais camadas até 1 m de profundidade. Posteriormente, foi realizada a somatória das doses resultando na máxima de 12 t ha⁻¹ de calcário. As demais doses corresponderam a metade e a 75% da dose total. A

calagem ocorreu a lanço em novembro e posteriormente a soja semeada em dezembro do mesmo ano e em novembro do ano seguinte. Foi possível observar que houve aumento da produtividade no primeiro ano em relação as doses de 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹ de calcário, visto que correspondeu a 2.014, 2.240, 2.253 e 2.590 kg ha⁻¹, respectivamente. Já no segundo ano o aumento das doses do corretivo não mostrou diferença significativa na produtividade, se mantendo na média de 1.406 kg ha⁻¹ entre as doses de 3 a 12 t ha⁻¹. Nesse ano a produtividade foi menor em comparação ao primeiro devido a ocorrência de ataque da ferrugem asiática. Resultado semelhante em relação ao potássio foi encontrado no estudo de Moraes (2019), em que não houve alteração significativa nos teores foliares de potássio em feijoeiro após aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 77%). Nesse trabalho os teores se mantiveram na média de 21 g kg⁻¹, dentro da faixa adequada em todas as doses correspondentes a 0, 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹. Para execução do experimento a calagem foi realizada 4 meses antes do plantio sob um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, com posterior incorporação utilizando grade pesada visando atingir até 40 cm de profundidade e por fim uma subsolagem. A coleta das folhas foi realizada no início do florescimento, retirando-se o terceiro trifólio a partir do ápice das plantas. Antes da instalação do experimento realizou-se a análise química do solo caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo argiloso até a profundidade de 40 cm, em que foi observado as saturações por bases de 42% e 44% nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. A segunda análise foi realizada na profundidade de 0-20 cm, 6 meses após a aplicação do corretivo, em que foi observado que os valores médios de pH (CaCl₂) não ultrapassaram 6,5 mesmo com a aplicação de 15 t ha⁻¹ de calcário. Antes da instalação dos experimentos os solos haviam sido cultivados com pastagens e milho, no entanto, com pouca utilização de fertilizantes e corretivos. Além disso, já estavam sem atividade agrícola por pelo menos dois anos. De acordo com o método da saturação por bases, seria necessário 1,6 t ha⁻¹ de calcário para elevar a V% a 70 na camada de 0-20 cm. Pensando na multiplicação por 2 para se atingir a camada de 0-40 cm, seria necessário 3,2 t ha⁻¹. Na realidade, foi observado nesse experimento que apenas na dose de 9 t ha⁻¹ foram obtidos os valores médios de 70% de saturação por bases. Sendo assim, é possível perceber que há uma grande diferença entre a dose calculada pelo método oficial e a dose real para se atingir a V% desejada. Com relação a produtividade houve aumento significativo com a aplicação das doses crescentes de calcário. A dose que elevou a saturação por bases para 70% foi de 15 t ha⁻¹, entretanto, de acordo com a equação de regressão ajustada, a dose de produtividade máxima seria de 7,5 t ha⁻¹, resultando em um incremento de 18% na cultura. Resultado divergente a concentração de potássio foi encontrado no trabalho de Lange et al.

(2022), em que utilizou-se doses de calcário dolomítico (PRNT 99%) correspondentes a 3, 6 e 9 t ha⁻¹ para avaliar os efeitos na cultura da soja após incorporação do corretivo. Para simular a incorporação, ocorreu a homogeneização em vasos das doses equivalentes de calcário em uma porção de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura argilosa, 6 meses antes do plantio. Utilizando o método da saturação por bases seria necessário 6 t ha⁻¹ de calcário para elevar a saturação a 70 %. A concentração de potássio reduziu de 27 g kg⁻¹ na ausência de calagem para aproximadamente 15 g kg⁻¹ nas doses de 6 e 9 t ha⁻¹, em que provavelmente ocorreu competição entre o potássio e o magnésio durante a absorção, reduzindo as concentrações do nutriente no tecido das plantas. Diante disso, podemos perceber que em determinadas situações quando a dose recomendada é relativamente alta, pode ser realizado como estratégia o parcelamento em 2 ou 3 anos para reduzir possíveis efeitos negativos na cultura implantada. No trabalho em questão, a alta dose de 9 t ha⁻¹ de calcário não comprometeu os principais componentes de produção da cultura. Foi observado aumento linear na massa de mil grãos e no sistema radicular com o acréscimo das doses, entretanto, houve pouca diferença de produtividade entre a dose recomendada e o excesso de calcário.

2.8 Enxofre (S)

O enxofre está presente na composição de todas as proteínas vegetais. É absorvido na forma de sulfato e além de ser um componente essencial das proteínas ele ajuda a manter a cor verde das folhas, promove a nodulação nas fabáceas, estimula a formação das sementes e estimula o crescimento das plantas de acordo com Malavolta (1989). A deficiência de enxofre pode ser observada especialmente em solos de cerrado, devido a baixa fertilidade, associada à pequena quantidade de matéria orgânica e à lixiviação de sulfato que é acentuada pela aplicação de calcário e fósforo (RHEINHEIMER et al., 2005; VITTI et al., 2007). Sendo assim, a seguir são apresentados trabalhos sobre os efeitos que altas doses de calcário resultam no comportamento do enxofre no sistema.

Em uma pesquisa realizada por Caires et al. (2006) utilizando doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 82%) aplicado superficialmente não houve alteração significativa nos teores foliares de enxofre em plantas de soja, se mantendo em nível adequado após aplicação de uma dose acima da recomendada. A cultura foi avaliada 2 anos após a aplicação do corretivo em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilo-arenosa, sendo realizados 4 tratamentos, compostos por doses de calcário correspondentes a 0; 2,5; 5 e 7,5 t ha⁻¹. De

acordo com o método de saturação por bases a dose de 5 t ha⁻¹ foi recomendada para elevar a saturação a 70%. O teor foliar de enxofre se manteve na média de 2,8 g kg⁻¹ entre todas as doses utilizadas, sendo que a produtividade na dose recomendada foi de 4.267 kg ha⁻¹ e na dose de 7,5 t ha⁻¹ foi de 4.006 kg ha⁻¹. Foi avaliado também a cultura do milho após 1 ano de aplicação dessas mesmas doses de calcário, em que ocorreu efeito similar nos teores de enxofre nas plantas. A maior dose de 7,5 t ha⁻¹ de calcário não influenciou os teores de enxofre no milho, se mantendo em média de 1,9 g kg⁻¹ entre todas as doses avaliadas, entretanto, a produtividade foi de 9.460 kg ha⁻¹ na dose recomendada e 9.300 kg ha⁻¹ na maior dose de calcário aplicada. No trabalho realizado por Pessoni (2012) utilizando doses de 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 70%) aplicado superficialmente em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de classe textural argiloarenosa, também não houve influência na absorção de enxofre pelo cereal de inverno denominado Triticale. Em dois anos de avaliação os teores do nutriente se mantiveram em níveis adequados em todos os tratamentos. No primeiro ano a média do teor foliar de enxofre entre as doses de calcário foi de 6,3 g kg⁻¹ e no segundo ano se manteve em média de 4,1 g kg⁻¹. Em relação a produtividade, no primeiro ano de cultivo foi observado decréscimo entre as doses, havendo redução de 1.361 na dose de 3 t ha⁻¹, para 1.125, 1.069, 0.819 t ha⁻¹ nas doses de 6, 9 e 12 t ha⁻¹, respectivamente. Já no segundo ano a produtividade não sofreu influência significativa entre as doses de 3 a 12 t ha⁻¹ de calcário, se mantendo na média de 2.413 t ha⁻¹. A menor produtividade no primeiro cultivo pode ser explicada devido aos fatores climáticos ocorridos nesse ano. Nesse trabalho também foi avaliado os efeitos da associação dessas doses de calcário com diferentes doses de gesso, entretanto os resultados aqui apresentados são na ausência da gessagem. Como a dose de 12 t ha⁻¹ foi recomendada para a profundidade de 1 m no solo, o calcário certamente ficou concentrado na camada superficial do solo. As doses de calcário foram estabelecidas utilizando o método da saturação por bases, visando chegar a 80% para a camada de 0-20 cm e a 50% nas demais camadas até 1 m de profundidade. Posteriormente, foi realizada a somatória das doses resultando na máxima de 12 t ha⁻¹ de calcário. As demais doses corresponderam a metade e a 75% da dose total. Na literatura ainda são escassos os trabalhos sobre as respostas do triticale à calagem, provavelmente pelo fato de ser uma cultura mais tolerante à acidez dos solos. Alleoni et al. (2005) não observaram influência significativa nos teores de enxofre no solo após 6 meses da aplicação de calcário dolomítico (PRNT 78%) em até 7,8 t ha⁻¹. Essa dose foi maior do que a utilizada no segundo tratamento de 4,9 t ha⁻¹, que já seria suficiente para elevar a saturação por bases a 70%, adequada para a maioria das culturas. Esse trabalho objetivou obter informações sobre os efeitos da calagem superficial e incorporada em diferentes atributos

químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico de textura muito argilosa. Nesse caso, a alteração observada nos teores de enxofre foi devido ao modo de aplicação do calcário, sendo que a incorporação do corretivo provavelmente acelerou a mineralização da matéria orgânica liberando sulfato para o sistema. Foi observado também diferenças entre o modo de aplicação do corretivo e a camada de solo que o nutriente ficou mais concentrado. Após seis meses da aplicação superficial de calcário, foi observado maiores teores de enxofre na camada de 0-5 cm (18 g dm^{-3}) quando comparado a aplicação com incorporação (16 g dm^{-3}). Em um trabalho executado por Caires e Fonseca (2000), também não ocorreu alteração significativa na disponibilidade de enxofre em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura média, após aplicação superficial de diferentes doses de calcário dolomítico (PRNT 84%) em até 6 t ha^{-1} . Foi realizado a avaliação das respostas nutricionais da soja em um tratamento correspondente a ausência de calagem, outro com aplicação de 2 t ha^{-1} de calcário, outro com a dose recomendada de 4 t ha^{-1} para elevar a saturação por bases a 70% e por fim um tratamento com 6 t ha^{-1} para avaliar a cultura na dose acima da recomendada. Após análise dos teores nas plantas observou-se pouca influência na concentração de enxofre entre as doses de calcário, se mantendo em um valor médio de $30 \text{ mg planta}^{-1}$. Mesmo com pouca influência no nutriente, as exigências pela cultura foram atendidas até a maior dose do corretivo. A análise de solo e a avaliação das plantas ocorreram após 3 anos da calagem em área manejada com sistema de plantio direto, utilizando rotação de culturas entre soja, trigo, milho e aveia-preta. Avaliando os teores de enxofre em diferentes camadas do solo, foi possível perceber que havia uma maior concentração na camada de 10-20 cm correspondente a média de $13,3 \text{ mg dm}^{-3}$, e menores concentrações nas camadas de 0-5 e 5-10 cm ($6,6 \text{ mg dm}^{-3}$ e $8,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente). A produção de grãos foi de 2.702, 2.704, 2.860 e 2.685 kg ha^{-1} para as doses de 0, 2, 4 e 6 t ha^{-1} de calcário.

2.9 Cálcio (Ca)

O cálcio é um nutriente extremamente importante para as plantas, sendo responsável por funções como atuar na formação do pectato de cálcio, presente na lamela média da parede celular, na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico (FAQUIN, 2005). A deficiência de Ca promove redução no crescimento de tecidos meristemáticos e resulta na hidrólise de substâncias pécticas, sendo observada inicialmente, nos órgãos em crescimento e folhas novas (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012). A seguir são apresentados trabalhos sobre a influência de altas doses de calcário no comportamento do cálcio no sistema.

Em um trabalho realizado por Moraes (2019) não foi observado influência significativa nos teores de cálcio em folhas de soja após aplicação de altas doses de calcário dolomítico (PRNT 83%). Já no solo, houve aumento linear dos teores, partindo de $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $2,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na ausência de calcário e na maior dose de 15 t ha^{-1} , respectivamente. Para execução do experimento a calagem foi realizada 5 meses antes do plantio sob um Latossolo Vermelho Amarelo argiloso em doses correspondentes a 0, 3, 6, 9, 12 e 15 t ha^{-1} , com posterior incorporação com grade pesada visando atingir até 40 cm de profundidade e por fim uma subsolagem. Antes da instalação realizou-se a análise química do solo até a profundidade de 40 cm, já a segunda análise foi realizada na profundidade de 0-20 cm, 6 meses após a aplicação do corretivo. Com relação a produtividade houve aumento significativo com a aplicação das doses crescentes de calcário. A produtividade máxima de soja ocorreu na dose de $9,4 \text{ t ha}^{-1}$ de acordo com a equação de regressão obtida. Comparando-se com a ausência de calagem houve um incremento de produtividade de 24%, sendo importante ressaltar, que a dose que elevou a saturação por bases a 70% foi de 9 t ha^{-1} , próxima a dose para obtenção de máxima produtividade. Caso a calagem fosse recomendada pelo método da saturação por bases, a dose seria de apenas $3,2 \text{ t ha}^{-1}$. Lange et al. (2022) realizaram um estudo utilizando doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 99%) correspondentes a 3, 6 e 9 t ha^{-1} para avaliar os efeitos na cultura da soja após incorporação do corretivo. Para simular a incorporação, ocorreu a homogeneização em vasos das doses equivalentes de calcário em uma porção de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura argilosa, 6 meses antes do plantio. Utilizando o método da saturação por bases seria necessário 6 t ha^{-1} de calcário para elevar a saturação a 70%. Nesse trabalho houve efeito semelhante em que foi observado pouca influência nos teores foliares de cálcio entre a dose recomendada e a mais alta de 9 t ha^{-1} , se mantendo na média de 6 g kg^{-1} . Já no solo os teores aumentaram de aproximadamente 1,8

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na menor dose de calcário para $3,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na maior dose aplicada. A alta dose de 9 t ha^{-1} de calcário não comprometeu drasticamente a produtividade, entretanto, foi observado efeito quadrático em função do aumento das doses. Podemos perceber que houve um limite em relação a maior dose aplicada, visto que se for comparada com a dose recomendada utilizando o gráfico apresentado a diferença de produtividade entre as duas doses foi ínfima.

Em uma pesquisa realizada por Barbosa Filho e Silva (2000) foi observado aumento na absorção de cálcio por plantas de feijão, após aplicação de altas doses de calcário representadas por 3, 6, 9, 12 e 15 t ha^{-1} . Antes da aração e de duas gradagens, e da instalação dos experimentos foi realizada a análise química do solo. Constatou-se que através do método da saturação por bases seria necessário 3 t ha^{-1} para elevar a saturação a 70%. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura franco-argilosa, onde a avaliação da absorção dos nutrientes e da produção de grãos ocorreu com a retirada das plantas no momento da floração e da colheita. A quantidade de cálcio removida pelo feijoeiro na parte aérea (caule + folhas) foi de 21 kg ha^{-1} na dose recomendada para 32 kg ha^{-1} na maior dose de 15 t ha^{-1} do corretivo. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura franco-argilosa e de acordo com o resultado da análise de solo, utilizando o método da saturação por bases seria necessário 3 t ha^{-1} para elevar a saturação a 70%. Em relação a produtividade foi possível observar aumento linear em função das doses de calcário aplicadas, partindo de 2.423 kg ha^{-1} na dose recomendada para 2.767 kg ha^{-1} na dose de 15 t ha^{-1} . Após 110 e 362 dias de aplicação as maiores saturações por bases de 53 e 60%, foram encontradas na dose de 15 t ha^{-1} , sendo que a dose recomendada de 3 t ha^{-1} resultou nas saturações de 30 e 33% nesse tempo. Mesmo se considerar o curto espaço de tempo de 110 dias de reação que o calcário teve com o solo, as doses de 3, 6, 9, 12 e 15 t ha^{-1} resultaram respectivamente, em um aumento de 19%, 19%, 29%, 29% e 37% no rendimento da cultura. Em um trabalho realizado por Prado (2003) foi observado resultado semelhante em que houve um pequeno aumento nos teores foliares de cálcio em um pomar de goiabeiras após aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 100%) representadas por 0; 1,85; 3,71; 5,56 e $7,41 \text{ t ha}^{-1}$. Essas doses correspondiam a zero, metade da dose recomendada, dose recomendada para elevar a V% a 70, 1,5 e 2 vezes a dose recomendada. Realizou-se a incorporação do calcário a 30 cm de profundidade em um Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média, 4 meses antes da implantação do pomar, sendo que a avaliação foliar ocorreu aos 21 e aos 34 meses após o plantio. Aos 21 meses foi observado alteração nos teores foliares partindo de aproximadamente 4 g kg^{-1} na dose recomendada e 9 g kg^{-1} na dose mais alta de calcário. Já

aos 34 meses, os teores aumentaram de aproximadamente 9 g kg^{-1} na dose recomendada para 11 g kg^{-1} na maior dose. Nas doses correspondentes a 1,5 e 2 vezes a dose de calcário recomendada, foi constatado uma melhoria significativa nas condições químicas do solo até 60 cm de profundidade após 16 meses da aplicação do corretivo. Nesse trabalho foi observado que mesmo utilizando o dobro da dose para elevar a V% a 70 foi obtido apenas 64%, evidenciando que apesar do método da saturação por bases apresentar fundamento científico, os valores foram inferiores aos estimados. As doses de calcário incrementaram de forma quadrática o diâmetro do tronco, a altura e o volume da copa no terceiro ano após o plantio, exceto a altura que teve aumento linear. Em relação a produção de frutos foi observado efeito quadrático no primeiro e segundo ano, sendo que a máxima produção foi obtida quando a saturação por bases do solo atingiu 45% na linha e 50% na entrelinha do pomar, e os teores foliares de cálcio e magnésio ficaram próximos a $8,0$ e $4,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

2.10 Magnésio (Mg)

Parte do magnésio absorvido pelas plantas é constituinte estrutural da clorofila, sendo uma molécula orgânica fundamental no processo físico-químico da fotossíntese. O magnésio é o átomo central da molécula de clorofila, correspondendo ao redor de 2,7% do peso molecular da clorofila e, dependendo do estado nutricional, entre 6 e 25% do Mg total das plantas está ligado à clorofila (MARSCHNER, 2012). Também desempenha um papel fundamental nos mecanismos de defesa das plantas em condições de estresse abiótico (SENBAYRAM et al., 2015). Sendo assim, a seguir são apresentados trabalhos sobre os efeitos que altas doses de calcário resultam no comportamento do magnésio no sistema.

Em um trabalho realizado por Almeida (2013) houve aumento linear dos teores de magnésio em um solo caracterizado como Argissolo Vermelho Amarelo de textura arenosa até 4 vezes a dose recomendada de calcário dolomítico (PRNT 91%), partindo de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na ausência de calagem para $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na dose recomendada de $1,3 \text{ t ha}^{-1}$ e $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na dose de $5,2 \text{ t ha}^{-1}$, após 5 meses de aplicação do corretivo. As doses utilizadas de calcário foram 0; 1,3; 2,6; 3,9 e $5,2 \text{ t ha}^{-1}$, correspondendo a zero, uma, duas, três e quatro vezes a dose recomendada para elevar a saturação por base a 50%. Mesmo se a saturação por bases desejada fosse de 70%, nas características químicas do solo desse experimento a dose recomendada seria de $2,3 \text{ t ha}^{-1}$, ainda menor que as utilizadas no trabalho. Nas plantas de feijão não foi observado alteração significativa dos teores foliares de magnésio em nenhuma das doses de

calcário, se mantendo na média de 4,3 g kg⁻¹. A aplicação do calcário foi a lanço sem incorporação, realizada a aproximadamente 1 ano antes da semeadura do feijão. Após 5 meses de aplicação do calcário realizou-se a coletada de solo na profundidade de 0-20 cm para determinação dos atributos químicos, sendo que a avaliação nutricional das plantas ocorreu no período de florescimento pleno. Nesse trabalho foi interessante observar também que mesmo na dose maior do que a recomendada, o pH do solo se manteve em 5,0 e 5,6 nos anos de 2011 e 2012, respectivamente, não chegando a condição de alcalinidade. Em relação a produtividade das plantas de feijão não houve diferença significativa no primeiro ano, sendo observada apenas no segundo ano, destacando que a dose de máxima produtividade média foi obtida com 3 t ha⁻¹ de calcário. Nos componentes de produção foi observado aumento no número de vagens por planta com as doses crescentes de calcário, não havendo influência no comprimento, na massa e no rendimento de vagens. Em um estudo realizado por Lange et al. (2022) foi constatado aumento nos teores de magnésio no solo até a dose mais alta de calcário utilizada, no entanto, no tecido foliar das plantas de soja as doses de calcário tiveram pouca influência no nutriente. Na amostragem realizada 90 dias após a incubação do corretivo, o aumento da concentração do nutriente foi expressivo, partindo de 1,5 cmol_c dm⁻³ na dose de 3 t ha⁻¹ para 3,5 cmol_c dm⁻³ na dose de 9 t ha⁻¹. Utilizou doses crescentes de calcário dolomítico (PRNT 99%) correspondentes a 3, 6 e 9 t ha⁻¹, para avaliar os efeitos na cultura após incorporação do corretivo. Para simular a incorporação, ocorreu a homogeneização em vasos das doses equivalentes de calcário 6 meses antes do plantio em uma porção de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura argilosa. De acordo com os dados da análise de solo antes da instalação do experimento e utilizando o método da saturação por bases, seria necessário 6 t ha⁻¹ de calcário para elevar a saturação a 70%, entretanto, foi avaliado também os efeitos na cultura após a aplicação de uma dose acima da recomendada, representada por 9 t ha⁻¹ do calcário dolomítico. No trabalho em questão, a alta dose de 9 t ha⁻¹ de calcário não comprometeu os principais componentes de produção da cultura. Foi observado aumento linear na massa de mil grãos e no sistema radicular com o acréscimo das doses, entretanto, houve pouca diferença de produtividade entre a dose recomendada e o excesso de calcário. Já em outro trabalho realizado por Barbosa Filho e Silva (2000), foi observado aumento na absorção de magnésio por plantas de feijão, após aplicação de altas doses de calcário representadas por 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹. Antes da aração e de duas gradagens, e da instalação dos experimentos foi realizada a análise química do solo. Constatou-se que através do método da saturação por bases seria necessário 3 t ha⁻¹ para elevar a saturação a 70%. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico de textura franco-argilosa, onde a avaliação da

absorção dos nutrientes e da produção de grãos ocorreu com a retirada das plantas no momento da floração e da colheita. A quantidade de magnésio removida pelo feijoeiro na parte aérea (caule + folhas) foi de 5,8 kg ha⁻¹ na dose recomendada para 7,1 kg ha⁻¹ na maior dose de 15 t ha⁻¹ do corretivo, evidenciando um pequeno aumento na absorção do nutriente nos diferentes tratamentos. Em relação a produtividade foi possível observar aumento linear em função das doses de calcário aplicadas, partindo de 2.423 kg ha⁻¹ na dose recomendada para 2.767 kg ha⁻¹ na dose de 15 t ha⁻¹. Após 110 e 362 dias de aplicação as maiores saturações por bases de 53 e 60%, foram encontradas na dose de 15 t ha⁻¹, sendo que a dose recomendada de 3 t ha⁻¹ resultou nas saturações de 30 e 33% nesse tempo. Mesmo se considerar o curto espaço de tempo de 110 dias de reação que o calcário teve com o solo, as doses de 3, 6, 9, 12 e 15 t ha⁻¹ resultaram respectivamente, em um aumento de 19%, 19%, 29%, 29% e 37% no rendimento da cultura. Podemos perceber a ausência de toxidez de magnésio por plantas na maioria dos trabalhos avaliados, sendo mais fácil ser observado a influência de altos teores desse nutriente na absorção de potássio. Em situação de altas concentrações de cálcio e magnésio no solo há desequilíbrios na absorção de potássio pelas plantas, resultando em decréscimo na absorção. Esse efeito pode causar prejuízos na produtividade de diversas culturas como soja e milho, por isso, para evitar esse problema a calagem deve ser realizada em doses adequadas, mediante a necessidade do solo avaliado.

2.11 Biomassa Microbiana no Solo (BMS)

Os microrganismos presentes no solo possuem como característica uma rápida resposta às alterações no ambiente desencadeadas por ações feitas pelo homem. Os atributos microbianos, tais como a diversidade de microrganismos, atividade enzimática, taxa de respiração e biomassa microbiana, são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola (FERREIRA et al., 2011; EPELDE et al., 2014; FERREIRA et al., 2010). São responsáveis por diversos processos bioquímicos e biológicos como temperatura, umidade, tipo de manejo e cultivo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Como estes microrganismos atuam na decomposição de materiais orgânicos, ciclagem de nutrientes, fixação de nutrientes como o nitrogênio, liberação de fósforo, biorremediação, entre outros (HARTMAN et al., 2018; SOUZA et al., 2020), as alterações no pH do solo podem também influenciar estes processos. A preservação do pH ótimo, entre 6 e 7 (ARAÚJO, 2017) se faz necessária tanto para o desenvolvimento da

biomassa microbiana quanto para o desenvolvimento da maioria das culturas. Devido ao fato do calcário aumentar o pH dos solos, a aplicação de doses elevadas em que a faixa ultrapasse a neutralidade (pH 7) pode resultar em condições desfavoráveis aos microrganismos benéficos. Como apresentado por Leal et al. (2021), o pH é um dos atributos físico-químicos do solo mais descritos por influenciar as diferentes comunidades microbianas que habitam os solos. A calagem consegue influenciar o aumento da mineralização da matéria orgânica e beneficiamento da fixação simbiótica de nitrogênio já que são processos mediados por bactérias consideradas basófilas (MICHEREFF et al., 2005). De acordo com a faixa de pH do solo que os microrganismos se desenvolvem, eles podem ser classificados como basófilos, acidófilos, neutrófilos e insensitivos ou indiferentes que toleram ampla faixa de pH. Os fungos de forma geral são mais adaptados a se desenvolverem em meios com pH mais baixo, em torno de 5,0 (acidófilos), enquanto as bactérias se desenvolvem melhor na faixa de pH entre 6,0 e 8,0 (neutrófilos e basófilos) (LEITE; ARAÚJO, 2007). Um dos principais componentes da microbiota do solo são os fungos micorrízicos, responsáveis pela maximização do uso de nutrientes, como o fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn), e as hifas extrarradiculares desempenham um papel fundamental na formação de agregados (KABIR, 2005). O pH do solo em faixa alcalina, a adubação com doses excessivas de fertilizantes, o uso indiscriminado de defensivos e o revolvimento intensivo do solo, são práticas que afetam negativamente os fungos micorrízicos, contribuindo assim para a reduzida sustentabilidade de sistemas que empregam essas práticas (ALGUACIL et al., 2008). Ainda são escassos os trabalhos na literatura sobre os efeitos da supercalagem nos microrganismos do solo, entretanto, sabendo que o pH afeta diretamente a população da biomassa microbiana deve-se ter cuidado em relação a quantidade de calcário aplicada para o solo não chegar a níveis de alcalinidade, sendo este um problema de difícil reversão.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos trabalhos avaliados foi possível observar pouca influência em relação a redução nos teores dos nutrientes tanto no tecido foliar das plantas quanto no solo, visto que ainda se mantiveram em níveis adequados mesmo com a utilização das doses acima da quantidade recomendada pelo método da saturação por bases. Observou-se também resultados controversos na produtividade das culturas, sendo que fatores como o tipo de solo, a dose e o modo de aplicação foram determinantes para influenciar na resposta das plantas a alta dose de calcário. Sabe-se que solos mais argilosos resistem mais a alteração do pH em comparação a solos arenosos, resultando em uma maior capacidade de aproveitamento de quantidades maiores de calcário. Em muitos casos a saturação por bases desejada não é alcançada com o uso da dose recomendada, entretanto, deve ser observado se as quantidades mais elevadas resultam em um retorno econômico significativo a produção. No atual cenário agrícola devemos pensar em estratégias para aumentar a eficiência do calcário, sendo uma delas a utilização de plantas de cobertura, em que a ciclagem de nutrientes associada a formação de bioporos resultam em mecanismos fundamentais para o melhor efeito do calcário no perfil do solo. Aparentemente não há ganhos significativos em relação a produtividade com o uso de doses de calcário acima da quantidade recomendada pelo método da saturação por bases, havendo a necessidade de se estudar melhor a efetividade dessas recomendações, aonde o maior benefício talvez seja o aumento da durabilidade da ação do calcário no sistema, aumentando conseqüentemente o tempo para reaplicação na área.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B.; PEITER, E. Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 300, 2020.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. **FAO - Food and Agriculture Organization**, Rome, v. 12, n. 3, p. 1-147, 2012.
- ALGUACIL, M. M.; LUMINI, E.; ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; BONFANTE, P.; BIANCIOTTO, V. The impact of tillage practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in subtropical crops. **Ecological Applications**, v. 18, n. 2, p. 527-536, 2008.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.
- ALMEIDA, A. L. G. **Resposta de cultivares de Feijão-Caupi a calagem**. 2013. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2013.
- ARAÚJO, W. C. **Influência da granulometria do calcário calcinado dolomítico no pH do solo**. 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) - Centro Universitário de Formiga, Belo Horizonte, 2017.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.
- BESEN, M. R.; GOES NETO, A. F.; ZAMPAR, E. J. O.; MOREIRA, L. S. O.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Calagem incorporada e superficial em latossolo vermelho distroférico: efeitos nos teores de micronutrientes do solo. In: EPCC – ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 10, 2017, Maringá. **Anais eletrônicos [...]**. Maringá: UNICESUMAR, 2017. p. 1-4.
- BIAZATTI, R. M.; BERGAMIN, A. C.; FERREIRA, W. S.; FERREIRA, E.; SOUZA, F. R.; ALMEIDA, P. M.; DIAS, J. R. M. Fitomassa do Capim-Braquiária e atributos químicos de um latossolo sob compactação induzida e doses de calcário. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 55368- 55387, 2020.
- BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, A. C. B.; BRITO, G. G.; BOGIANI, J. C.; CARVALHO, M. C. S. Calagem superficial e sua influência sobre a acidez do solo e produção do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34. 2013, Florianópolis. **Anais eletrônicos [...]**. Florianópolis: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. p. 1-4.
- BRATTI, E. F.; ROSA, Y. B. C. J.; SILVA, E. F.; ROSA JÚNIOR, E. J.; ZÁRATE, N. A. H.; BÍSCARO, G. A.; ROSA, D. B. C. J. Cultivo de gladiolos em função das doses de calcário e potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 397-402, 2012.
- BURKHEAD, J. L.; GOGOLIN REYNOLDS, K. A.; ABDEL-GHANY, S. E.; COHU, C. M.; PILON, M. Copper homeostasis. **New Phytologist**, Lancaster, v. 182, n. 4, p. 799-816, 2009.
- CAIRES, E. F. Acidez do solo. In: PROCHNOW, L.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas**

práticas para uso de fertilizantes. IPNI, Piracicaba, 2014, 462p.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

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

CARDOSO, A. A. S.; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; FARIAS, E. P.; MOURA, R. P. M. Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CARNEIRO, J. S. S.; SOUSA, S. A.; NIKKEL, M.; DEUSDARÁ, T. T.; MACHADO, A. F.; SILVA, R. R. Supercalagem: alterações em atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico. **Revista De Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2018.

EPELDE, L.; BURGESS, A.; MIJANGOS, I.; GARBISU, C. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 404 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops.** 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

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

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 615-619, 2003.

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 177-183. 2010.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 899-907, 2011.

FIDALGO, F.; AZENHA, M.; SILVA, A. F.; SOUSA, A.; SANTIAGO, A.; FERRAZ, P.; TEIXEIRA, J. Copper-induced stress in *Solanum nigrum L.* and antioxidant defense system responses. **Food and Energy Security**, v. 2, n. 1, p. 70-80, 2013.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo.

UNIMAR, Marília, v. 26, n. 2, p. 8-25, 2017.

HANSCH, R.; MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Plant Biology**, Germany, v. 12, n. 3, p. 259-266, 2009.

HARTMAN, K.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; WITTWER, R. A.; BANERJEE, S.; WALSER, J. C.; SCHLAEPPI, K. Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming. **Microbiome**, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2018.

HINSINGER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 173-195, 2001.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, n. 1, p. 23-29, 2005.

LANGE, A.; ZAMBIASI JÚNIOR, M. J.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; FREDDI, O. S. Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, Sinop, v. 10, n. 4, p. 585-594, 2022.

LEAL, M. L. A.; CHAVES, J. S.; SILVA, J. A.; SILVA, L. S.; SOARES, R. B.; NASCIMENTO, J. P. S.; MATOS, S. M.; TEIXEIRA JUNIOR, D. L.; BRITO NETO, A. F. Efeito dos sistemas de manejo e do uso do solo na população de microrganismos do solo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. 1-11, 2021.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. **Ecologia microbiana do solo**. 1. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 24 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. 1. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 5. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, J. F.; VIEIRA, C. R. Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2020.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

MELO, F. M.; MENDONÇA, L. P. C. Avaliação da disponibilidade de fósforo em solo argiloso com diferentes teores de matéria orgânica. **Humanidades e Tecnologia**, Paracatu, v. 18, n. 1, p. 52-67, 2019.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Pernambuco: UFRPE, 2005. 398 p.

MORAES, F. A. **Doses de calcário na construção da fertilidade do perfil do solo**. 2019. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

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**, Maringá, v. 39, n. 1 p. 89-97, 2017.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; KIEHL, J. 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.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. É. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NDUWUMUREMYI, A. Soil acidification and lime quality: sources of soil acidity, effects on plant nutrients, efficiency of lime and liming requirements. **Journal of Agriculture and Allied Sciences**, v. 2, n. 4, p. 26-34, 2013.

OLIVEIRA, J. R.; SOUZA, F. V. P.; SILVA, U. T. G.; DUARTE, N. F.; PINTO, S. I. C. Saturação por bases para o cultivo do cedro australiano. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p. 96 – 102, 2015.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. S.; GEBRIM, F. O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 859-868, 2006.

PESSONI, P. T. **Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale**. 2012. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2012.

PRADO, R. M. **Efeito da calagem no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de frutos da goiabeira e da caramboleira**. 2003. Tese (Doutorado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005.

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, 2015.

SAHRAWAT, K. L. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal Of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8 p. 1471-1504, 2004.

SENBAYRAM, M.; GRANSEE, A.; WAHLE, V.; THIEL, H. Role of magnesium fertilisers in

agriculture: plant-soil continuum. **Crop & Pasture Science**, v. 66, n. 12, p. 1219-1229, 2015.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 928-935, 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. N.; ARRUDA, R. O. M. Revitalização de corpos d'água com o uso da biorremediação. **Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada**, v. 4, n. 1, p.37-45, 2020.

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**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 119-126, 2003.

TIONG, J.; MCDONALD, G.; GENC, Y.; SHIRLEY, N.; LANGRIDGE, P.; HUANG, C. Y. Increased expression of six ZIP family genes by zinc (Zn) deficiency is associated with enhanced uptake and root-to-shoot translocation of Zn in bar-ley (*Hordeum vulgare*). **New Phytologist**, v. 207, n. 4, p. 1097-1099, 2015.

TOMBOLATO, A. F. C. **Cultivo comercial de plantas ornamentais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2004. 211 p.

VITTI, G. C.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; PIEDADE, S. M. S.; FARIA, M. R. M.; CICARONE, F. Assimilação foliar de enxofre elementar pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 225-229, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.