



MAURO MAGALHÃES LEITE FARIA

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE
CALCÁRIO EM ÁREAS DE CAFÉ EM PRODUÇÃO**

**LAVRAS - MG
2021**

MAURO MAGALHÃES LEITE FARIA

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO EM ÁREAS DE
CAFÉ EM PRODUÇÃO**

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

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
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).**

Faria, Mauro Magalhães Leite.

Eficiência da aplicação superficial de calcário em áreas de
café em produção / Mauro Magalhães Leite Faria. - 2021.

69 p. : il.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.

Coorientador(a): Rubens José Guimarães.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. 2. Calagem. 3. Superfície. I. Moreira,
Silvino Guimarães. II. Guimarães, Rubens José. III. Título.

MAURO MAGALHÃES LEITE FARIA

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO EM ÁREAS DE
CAFÉ EM PRODUÇÃO**

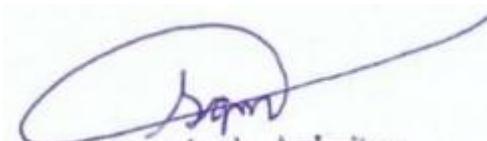
**EFFICIENCY OF SURFACE LIME APPLICATION IN COFFEE AREAS IN
PRODUCTION**

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

APROVADA em 30 de abril de 2021.

Dra. Dalyse Toledo Castanheira UFLA

Dr. Volnei Pauletti UFP



Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

Ao meu filho João Gabriel, à minha esposa Gabriela e à minha mãe, Vânia, por todo o amor, carinho e incentivo que possibilitaram esta conquista.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda a força e determinação proporcionados a mim, para que fosse possível superar todos os obstáculos e concluir essa etapa.

À minha esposa Gabriela, por todo o amor, carinho, incentivo e ajuda na execução deste trabalho.

Ao meu filho João Gabriel, pelo amor incondicional e por todos os sorrisos que me deram força para concluir essa etapa.

À minha mãe, Vânia, por todo o amor, carinho, palavras de incentivos e educação dada em toda a minha vida, que possibilitam ir atrás de todos meus objetivos.

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

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães, pela amizade, confiança, orientação, paciência, ensinamentos e toda a ajuda, desde o início da minha graduação em agronomia até hoje, e na realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Virgílio Anastácio da Silva, por toda a amizade, paciência e, principalmente, pela ajuda com a avaliação sensorial dos grãos colhidos nos experimentos.

À minha família, que sempre esteve presente me apoiando e dando força em todas as minhas decisões.

À minha amiga Marina Vilela, que sempre me ajudou demais em todo o período do mestrado e principalmente nas avaliações dos experimentos.

Aos meus amigos, Raul, Raiy, Samuel, Lorena, Marina, e a todos que me ajudaram nas avaliações realizadas nos experimentos.

Aos funcionários do setor de cafeicultura da UFLA, Alexandre, Filipe e Matheus por toda a amizade e ajuda na colheita e pós-colheita dos experimentos.

Aos integrantes dos núcleos G-MAP e NECAF, que ajudaram nas avaliações e colheita dos experimentos.

Às Fazendas Samambaia e Frade, pela disponibilização das áreas para a realização dos experimentos.

Ao Vinicius, proprietário da Fazenda do Frade, por ceder a área e ainda ajudar nas coletas de solo dos experimentos.

À Rehagro, em especial ao Luiz Paulo, pela ajuda na condução dos experimentos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade e condições oferecidas durante o curso.

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

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

Muito obrigado!

RESUMO

O café é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo o Brasil, o maior produtor e exportador mundial do grão. Muitos solos onde as lavouras cafeeiras estão implantadas apresentam elevada acidez, elevados teores de Al^{3+} e baixa disponibilidade de nutrientes, tornando a calagem indispensável ao cultivo. Objetivou-se avaliar a eficiência da calagem superficial na correção da acidez do solo, nutrição e produtividade das plantas, e na qualidade da bebida de café arábica. Para tanto, instalou-se dois experimentos a campo, na mesorregião dos 'campos das vertentes' no estado de Minas Gerais - Brasil, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso. Em cada local, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco doses de calcário (0, 3, 6, 12 e 24 toneladas por hectare), aplicadas em superfície e quatro repetições. Avaliou-se a influência das doses de calcário nos atributos químicos do solo nas camadas 0,0 a 0,1, 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, bem como as concentrações de nutrientes nas folhas, no primeiro e segundo ano após a aplicação. Avaliou-se também a produtividade, granulometria e qualidade da bebida na safra de 2020. O calcário aplicado superficialmente não causou efeitos significativos nos atributos químicos dos solos nas camadas analisadas, nem nos teores de macro e micronutrientes nas folhas, não alterando a produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos produzidos.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Calagem. Superfície.

ABSTRACT

Coffee is one of the main crops in Brazilian agribusiness, with Brazil being the world's largest producer and exporter of the bean. Many soils where coffee crops are planted have high acidity, high levels of Al^{3+} and low availability of nutrients, making liming indispensable for cultivation. The objective was to evaluate the efficiency of surface liming in the correction of soil acidity, plant nutrition and productivity and the quality of Arabica coffee drink. To this end, two field experiments were installed in the mesoregion of the "slope fields" in the state of Minas Gerais - Brazil, under a clayey Red-Yellow Latosol. At each site, a randomized block design (DBC) was used, with five limestone doses (0, 3, 6, 12 and 24 tons per hectare), applied on the surface and four replications. The influence of the limestone doses on the chemical attributes of the soil in the layers 0.0 to 0.1, 0.1 to 0.2 and 0.2 to 0.4 m was evaluated, as well as the concentrations of nutrients in the leaves, in the first and second year after application. The productivity, granulometry and quality of the drink were also evaluated in the 2020 harvest. The lime applied superficially did not cause significant effects on the chemical attributes of the soils in the analyzed layers, nor on the levels of macro and micronutrients in the leaves, without altering the productivity, quality physical and sensory effects of the grains produced.

Key words: *Coffea arabica* L. Liming. Surface.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Importância da cafeicultura	13
2.2	Acidez do solo, toxidez por alumínio e manganês.....	12
2.3	Importância da calagem.....	19
2.4	Calagem para manutenção da correção da acidez em cafezais em produção	21
2.5	Supercalagem	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Caracterização da área experimental	25
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	26
3.3	Instalação e condução do experimento	26
3.4	Avaliações	29
3.4.1	Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo	29
3.4.2	Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras foliares	30
3.4.3	Produtividade	30
3.4.4	Qualidade física e sensorial dos grãos.....	30
3.4.5	Análises estatísticas.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1	Resultados da aplicação das doses de calcário nos atributos químicos do solo..	32
4.1.2	Resultados observados no segundo ano após a aplicação das doses de corretivo	40
4.1.3	Discussão dos resultados observados nos atributos químicos do solo no primeiro e segundo ano após a aplicação das doses de corretivo	47
4.2	Resultados da aplicação das doses de calcário nos teores foliares de nutrientes	52
4.2.1	Efeitos observados nas concentrações foliares de nutrientes no primeiro e segundo ano após a aplicação das doses de calcário	52
4.2.2	Discussão dos resultados observados nos teores foliares de nutrientes no primeiro e segundo ano após a aplicação das doses de corretivo	57
4.3	Resultados da aplicação das doses de calcário na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos	58

4.3.1	Efeitos das doses de calcário na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos	58
4.3.2	Discussão dos resultados observados na Produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos	59
5	CONCLUSÕES	61
	REFÊRENCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial do grão (ICO, 2019). No ano de 2020, o Brasil exportou cerca de 44,5 milhões de sacas de café beneficiado, gerando 29 bilhões de reais de receita cambial (CECAFÉ, 2020).

A produção brasileira de café em 2020 foi de 63 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2020). Atualmente, são cultivados 2,16 milhões de hectares no Brasil, sendo que 1,88 milhão de hectares estão em plena produção e 277,3 mil hectares estão em formação. O cultivo de café arábica predomina no Brasil, sendo 81% do total, ou seja, 1,76 milhão de hectares.

A produtividade média das lavouras brasileiras no ano de 2020 foi de 33,5 sacas de 60 kg por hectare. No entanto, a produtividade média de cafeeiros da espécie arábica no Brasil é de 25 sacas por hectare (CONAB, 2020), considerada baixa, causada por diversos fatores bióticos e abióticos, como a baixa disponibilidade de água e nutrientes.

A maioria das lavouras de café está implantada em solos naturalmente pobres, ou empobrecidas pelo uso anterior (MATIELLO *et al.*, 2015). Esse fato provoca limitações no estabelecimento da lavoura em decorrência dos efeitos da acidez, associada às altas concentrações de alumínio e manganês e aos baixos teores de cátions básicos, como cálcio e magnésio. Dessa forma, torna-se necessário atenuar ou eliminar os efeitos negativos da acidez do solo por meio da calagem, um dos pilares para a obtenção de maiores e melhores produções agrícolas (SOUSA *et al.*, 2007).

Até mesmo nas áreas onde foram feitas correções no momento da implantação, com aplicações de calcário em quantidades adequadas, com o passar dos anos há a acidificação dos solos cultivados, aumentada pela absorção e exportação de cátions pelas plantas, e pelas adubações nitrogenadas, notoriamente com fontes amoniacais (CAI *et al.*, 2015). Desta forma, por ser uma espécie perene, a calagem é realizada em superfície quando o cafeeiro já está implantado, sem incorporação, como manutenção nas lavouras, sendo inviável o revolvimento do solo, que poderia causar o rompimento das raízes superficiais. No entanto, ainda são escassos os trabalhos encontrados na literatura que avaliam a aplicação de calcário em superfície, na correção da acidez do solo, na nutrição das plantas e produtividade do cafeeiro.

A maior parte dos estudos sobre efeito da calagem superficial foi realizada com aplicações de calcário na superfície de solos cultivados com espécies anuais, e em sistema de

plântio direto. De forma geral, em praticamente todos os estudos, se tem notado pouco efeito da calagem nos teores de nutrientes e na correção da acidez nas camadas abaixo de 10 a 20 cm, nos dois primeiros anos das aplicações dos corretivos (BORTOLUZZI *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2014; PAULETTI *et al.*, 2014; JORIS *et al.*, 2016). Inclusive, isso tem levado alguns produtores de grãos a revolver o solo, fazendo incorporações profundas de calcário. No entanto, a incorporação do calcário em camadas profundas seria impraticável para culturas perenes como o café, demonstrando a necessidade de experimentos, principalmente de longo prazo e em lavouras já implantadas. Assim, torna-se importante avaliar o efeito de doses crescentes de calcário na correção da acidez do solo, na disponibilidade de macro e micronutrientes, bem como a possível mobilidade do corretivo aplicado na superfície para camadas subsuperficiais, com o tempo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da cafeicultura

Com quase 300 anos de história cultivando café, o Brasil se consolida como líder absoluto no mundo, sendo maior produtor, exportador, e segundo maior consumidor do planeta. De acordo com a Conab (2020), o Brasil produziu 63 milhões de sacas de 60 kg na corrente safra. A exportação do produto no ano de 2020 alcançou 44,5 milhões de sacas, e o consumo interno, 22 milhões de sacas (CECAFE, 2020).

O café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, no qual já são descritas mais de 100 espécies. No entanto, apenas duas representam quase a totalidade dos cafés cultivados comercialmente no mundo, *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café robusta e/ou conilon) (DAVIS *et al.*, 2006). As duas espécies têm diferentes características agronômicas e morfológicas, como o tipo de caule, tamanho de folhas e frutos, e também na composição química, o que proporciona bebidas com características sensoriais muito distintas, com preferência pelo consumo do café arábica (FERNANDES *et al.*, 2003). Por sua vez, o café robusta é empregado em misturas ou *blends*, devido ao maior teor de sólidos solúveis e menor valor comercial, quando comparado ao arábica de qualidade (ILLY; VIANI, 1995).

A cadeia produtiva de café é responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no Brasil, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (MAPA, 2017). Com a elevação dos preços dos insumos impactando no custo de produção do café, e os baixos preços do produto, o retorno econômico ao produtor é cada vez mais baixo por unidade produzida. Para que não seja necessário o abandono da atividade pelos cafeicultores brasileiros, que iria impactar em toda a cadeia, é cada vez mais importante a busca por técnicas que aumentem a produtividade da cultura, diminua os custos de produção, e, conseqüentemente, aumentem os lucros (FERRAZ *et al.*, 2011; CUNHA *et al.*, 2016; FERNANDES *et al.*, 2016).

Há necessidade do incremento na produtividade dos cafeeiros por meio da melhor eficiência no uso de fertilizantes, a partir de novas formas para se recomendar calcário, visto que o manual mais utilizado em Minas Gerais, a 5ª aproximação (GUIMARÃES *et al.*, 1999), apresenta mais de 20 anos desde sua publicação. Naquela época em que foi publicada,

a produtividade média do país se encontrava abaixo de 20 sacas.ha⁻¹. Na última safra, a produtividade média ultrapassou 30 sacas.ha⁻¹ (CONAB, 2020).

2.2 Acidez do solo, toxidez por alumínio e manganês

A acidez do solo é didaticamente classificada em acidez ativa, trocável e acidez potencial (trocável e não trocável). A acidez ativa é composta pelos íons H⁺, que estão dissolvidos na solução do solo. Apesar da baixa concentração de H⁺ livres na solução, esta é quimicamente ativa, causando grande efeito na disponibilidade dos nutrientes (QUAGGIO; RAIJ, 2001; SOUSA *et al.*, 2007; CRUSCIOL *et al.*, 2016). Para corrigir apenas a acidez ativa do solo seriam necessárias pequenas quantidades de calcário. A acidez trocável é dada pela fração dos íons Al³⁺, que estão adsorvidos aos coloides do solo, e, quando a acidez ativa é corrigida, esses íons são liberados e hidrolisados na solução do solo, produzindo H⁺ deixando-a novamente ácida (SOUSA *et al.*, 2007).

Existe também, a fração de íons H⁺, que estão covalentemente ligados aos coloides do solo (esta é a acidez não trocável), ou seja, estes íons não são liberados para a solução do solo, devido sua forte ligação química com os coloides do solo. Eles só serão liberados com a adição de OH⁻ à solução, geradas com a aplicação e solubilização do calcário (SOUSA *et al.*, 2007). A acidez não trocável não causa danos diretos às plantas, mas sua correção aumenta a CTC efetiva do solo, pela liberação das cargas negativas ocupadas pelo Al³⁺, que agora poderão ser ocupadas por cátions básicos como cálcio, magnésio e potássio (BORTOLINI *et al.*, 2016).

A acidez potencial é um dos fatores que conferem o poder tampão ao solo, ou seja, solos com maior acidez potencial são de mais difícil variação de pH, ou seja, demandam maior quantidade de calcário para sua correção, que por sua vez, resistirá mais tempo à reacidificação do solo (SOUSA *et al.*, 2007; MOREIRA; MORAES, 2018). Por outro lado, solos com menores teores de matéria orgânica e mais arenosos ou constituídos de argilas de menor atividade, por possuírem menos cargas negativas, possuem menor acidez potencial, e, conseqüentemente, menor poder tampão, e demandam menores quantidades para sua correção, em que a reacidificação acontecerá em menor período, necessitando de novas aplicações (DONAGEMMA *et al.*, 2016).

Devido à alta complexidade de se calcular o poder tampão do solo e a quantidade exata de calcário para corrigir a acidez de cada solo (KOSTENKO, 2015; LEBLANC *et al.*,

2016), são necessários mais estudos para identificar doses capazes de corrigir a acidez nos diferentes tipos de solo.

Na prática, a acidez do solo é sempre associada à disponibilidade dos nutrientes. A maioria dos solos brasileiros é naturalmente ácida, devido ao material de origem e ao seu alto grau de intemperismo (JORIS *et al.*, 2016; TIRITAN *et al.*, 2016). Mesmo após a correção, as práticas agrícolas como a adubação nitrogenada com fontes amoniacais e amídicas podem intensificar essa acidificação do solo, diminuindo assim, os valores de pH (SOUSA, 2007; RAIJ, 2011; CAIRES *et al.*, 2015; HAO *et al.*, 2018). Além da lixiviação dos cátions e exportação pelas culturas, vários outros processos contribuem para aumentar a acidez do solo, como a dissolução do CO₂ na água, produzindo ácido carbônico que se dissociam e liberam H⁺ na solução do solo, gerando redução do pH; a respiração da raiz, com exsudação de H⁺, além da liberação de H⁺ na solução do solo pela decomposição da matéria orgânica (MO) (TRUOG, 2004; TANG *et al.*, 2011; YE *et al.* 2019).

Com o aumento da acidez do solo, aumenta o Al³⁺ solubilizado, substituindo os cátions básicos [cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e potássio (K⁺)] nas fases sólida e líquida do solo. Com isso, reduz o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes (MATÚŠ, 2007; KOPITTKE *et al.*, 2015). A toxicidade do Al e a deficiência induzida de P pela sua fixação nos óxidos de Fe e Al são considerados os principais obstáculos à produção agrícola em solos ácidos (OBURA, 2008; FAGERIA; NASCENTE *et al.*, 2014; KAMRAN *et al.*, 2018).

O pH do solo é um dos fatores que mais influenciam a disponibilidade dos nutrientes às plantas (SIECINSKA, 2016). Solos com pH em água abaixo de 7 são considerados ácidos, porém, a faixa de pH com maior disponibilidade de nutrientes às plantas, situa-se entre 6 e 7 (MARSCHNER; RENGEL, 2012; PENN *et al.*, 2019). Em solução nutritiva muito ácida, com pH menor que 4,5 a alta concentração de íons H⁺ pode provocar o deslocamento do Ca²⁺ da plasmalema da raiz, alterando sua permeabilidade, conseqüentemente, favorecendo o efluxo de nutrientes das raízes e reduzindo seu crescimento (FURTINI NETO, 2001; FAQUIN, 2005).

Solos com pH (H₂O) menor do que 5,5 apresentam alta concentração de Al³⁺ na solução do solo e adsorvidos aos coloides, que é tóxico às raízes, fazendo com que elas cessem o crescimento e que haja o engrossamento, causando diminuição na exploração do solo, e, conseqüentemente, na absorção de água e nutrientes (KOPITTKE *et al.*, 2015). Solos muito ácidos e advindos de material de origem ricos em manganês apresentam altos teores de Mn solúvel tóxico às plantas.

Com a elevação do pH em água acima de 5,6, praticamente todo o Al^{3+} é transformado em formas não disponíveis às plantas, neutralizando sua toxidez (ALLEONI *et al.*, 2010). Para o Mn^{2+} , é necessário um pH maior que 6,5 para sua total oxidação (Mn^{4+}), o que também não é interessante, visto que é um elemento essencial às plantas. Desta forma, o ideal seria manter uma faixa de pH (H_2O) entre 6,0 e 6,5 para que todo o Al^{3+} fique indisponível, ao mesmo tempo que o Mn^{2+} fique em concentrações adequadas na solução do solo (FURTINI NETO, 2001; SOUSA *et al.*, 2007; MARSCHNER; RENGEL, 2012).

Solos ácidos, em geral, apresentam baixa disponibilidade dos nutrientes. Esses solos, além do Al^{3+} causar toxidez às raízes, ainda provoca a lixiviação de cátions básicos como Ca, Mg e K, pois tem maior afinidade no complexo de trocas catiônicas, por ser trivalente e apresentar menor raio iônico hidratado (DOI *et al.*, 2020). A disponibilidade de fósforo também é afetada pela acidez, por causar alta taxa de precipitação dos ânions de fosfato com Al^{3+} , formando fosfatos de alumínio insolúvel. O condicionamento do pH na faixa entre 6,0 e 6,5 propicia uma boa disponibilidade da maioria dos nutrientes (MALAVOLTA, 1997; MARSCHNER; RENGEL, 2012).

No Brasil, além de a aplicação de calcário ser a principal prática para se corrigir a acidez e possibilitar o aumento da disponibilidade dos nutrientes, é a principal responsável pelo fornecimento de Ca e Mg (FONTOURA *et al.*, 2019). Isso porque os solos brasileiros, em sua maioria, apresentam baixos teores destes nutrientes.

O cálcio é um elemento essencial requerido pelas plantas em grandes quantidades, por isso é descrito como macronutriente (BROETTO *et al.*, 2017). O Ca é o terceiro macronutriente em quantidade absorvida pela maioria das plantas, e concentrações entre 10 e 50 g de Ca por kg de matéria seca de plantas são consideradas adequadas para um perfeito crescimento e desenvolvimento (DECHEN; NACHTIGAL, 2007; HAWKESFORD *et al.*, 2012).

Segundo Taiz e Zeiger (2017), o cálcio tem duas funções distintas nas células, sendo a primeira função, estrutural, isso porque está presente na lamela média na formação de pectatos de cálcio, delimitando e dando forma às células recém-divididas, impedindo danos à membrana celular. Desta forma, evita a saída de substâncias intracelulares e mantém a integridade da membrana citoplasmática, sendo essencial para o crescimento de meristemas e principalmente para o desenvolvimento dos ápices radiculares. A segunda função está ligada ao papel de sinalizador, atuando como mensageiro secundário iniciando respostas a estímulos ambientais.

O cálcio é distribuído na planta pelo xilema e acumulado nos pontos de crescimento ativo, como brotos e folhas. Por ter função principalmente estrutural, o cálcio, depois de acumulado, é imóvel na planta. Desta forma, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nos ápices de crescimento e folhas novas, começando por clorose nos bordos da folha. Com a deficiência extrema de Ca, as nervuras das folhas jovens e os pontos de crescimento se apresentam com forma gelatinosa, devido à má formação da parede celular e com o agravamento desta, a clorose se transforma em necrose, os ápices caulinares e folhas jovens morrem, os ápices radiculares cessam o crescimento, escurecem e morrem (FAQUIN, 2005; DECHEN; NACHTIGAL, 2007; HAWKESFORD *et al.*, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2017).

O cálcio é absorvido pelas plantas na forma divalente, somente pela ponta da coifa das raízes que é menos suberizada (BROETTO *et al.*, 2017). Sua absorção é muito afetada pelas altas concentrações de Al na solução do solo, o que causa o engrossamento das raízes, e, conseqüentemente, a diminuição drástica na absorção de Ca.

O cálcio é transportado da solução do solo às raízes, principalmente via fluxo de massa. Por isso, o solo deve conter uma maior concentração deste íon para uma boa absorção pelas plantas, quando o solo está bem corrigido e com altas concentrações de cálcio a interceptação radicular também pode aumentar a absorção deste pelas plantas (FURTINI NETO, 2001; DECHEN; NACHTIGAL, 2007; MARSCHNER; RENGEL, 2012). Para a maioria dos solos e culturas cultivadas no Brasil, uma saturação de cálcio na CTC do solo em torno de 70% seria o ideal, para o melhor desenvolvimento das plantas (DECHEN; NACHTIGAL, 2007).

A concentração de cátions como K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+ , Al^{3+} e Na^+ na solução do solo, afetam substancialmente a absorção do cálcio. Por isso, além do fornecimento deste elemento em quantidades adequadas, deve-se atentar à correção do solo, a fim de eliminar o Al^{3+} e aumentar a nitrificação do amônio. Como geralmente o fornecimento do cálcio é feito via calagem, já há a correção do solo, solubilizando o alumínio tóxico e aumentando o pH, o que beneficia a atividade biológica do solo e aumenta a nitrificação do amônio (DECHEN; NACHTIGAL, 2007; SOUSA *et al.*, 2007; RAIJ, 2011; HOLLAND *et al.*, 2018). No momento da escolha do corretivo, deve-se atentar à proporção de Ca e Mg do calcário, a fim de evitar prejuízos à absorção destes por meio da inibição competitiva.

Assim como o cálcio, o magnésio também é um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas. Sendo um macronutriente requerido em menores quantidades se comparado ao N, K e Ca é o quarto macronutriente em ordem de exigência pela grande

maioria das plantas, e ainda assim, sua concentração nas plantas é dada em gramas por kg de matéria seca (DECHEN; NACHTIGAL, 2007; HAWKESFORD *et al.*, 2012). A exigência de Mg pelas plantas é na ordem de dez vezes menor do que a exigência de N e K, mas cerca de 100 vezes maior que alguns micronutrientes como Fe, Zn e Mn (FURTINI NETO, 2001). Teores entre 3 e 5 gramas de Mg por kg de matéria seca são considerados adequados para o desenvolvimento da maioria das plantas (MALAVOLTA, 1979; MALAVOLTA; NETTO, 1989; FURLANI, 2004; HAWKESFORD *et al.*, 2012; SAMBORSKA *et al.*, 2018).

Em células vegetais, o magnésio tem papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, na fotossíntese e na síntese de DNA e RNA (VITTI *et al.*, 2006; GUO *et al.*, 2016). O Mg é um dos componentes centrais da molécula de clorofila, que é o principal fotorreceptor nos cloroplastos das células vegetais, responsáveis pela fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2017). O Mg está ligado nas reações de transferências de fosfatos ou nucleotídeos, de grupos carboxílicos e de ativadores da desidrogenase, mutase e liase (GUO *et al.*, 2016). O Mg contribui para manter a estabilidade estrutural dos ácidos nucleicos e membranas, influencia o transporte de carboidratos das folhas para outros órgãos, além de estimular a captação e transporte de fósforo na planta (DECHEN; NACHTIGAL, 2007; HAWKESFORD *et al.*, 2012; GUO *et al.*, 2016).

Diferentemente do cálcio, o magnésio tem alta mobilidade no xilema e no floema, sendo facilmente redistribuído dos drenos fracos, como folhas velhas, para os drenos fortes, como pontos de crescimento, folhas jovens e frutos (FURLANI, 2004; HAWKESFORD *et al.*, 2012; KOBAYASHI *et al.*, 2013). Por sua alta mobilidade, os sintomas de deficiência começam a surgir nas folhas velhas, sendo o sintoma inicial mais característico a clorose internerval nas folhas. Com o avanço da deficiência nota-se um ‘V’ invertido, partindo do pecíolo, com as folhas se tornando rígidas e quebradiças, seguida de abscisão de forma prematura (BUZETTI; ANDREOTTI, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2017). Assim, ocorre a redução de produtividade e intensificação da bienalidade, reduzindo o tamanho e a acidez dos frutos (DECHEN; NACHTIGAL, 2007).

O magnésio ocorre no solo somente na forma catiônica Mg^{2+} , que pode estar dissolvido na solução do solo ou adsorvido nas cargas negativas dos coloides, estas duas fases se encontram em equilíbrio, de face que se ocorrer a absorção pelas plantas do Mg em solução prontamente disponível, o que está adsorvido será liberado para a solução, a fim de se reestabelecer o equilíbrio (DECHEN; NACHTIGAL, 2007; MARSCHNER; RENGEL, 2012). De forma análoga ao que acontece com o Ca, o Mg também tem sua disponibilidade

afetada pela concentração de outros cátions, como o próprio Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ e Al^{3+} (FURTINI NETO, 2001; KOBAYASHI *et al.*, 2013; TANOI; KOBAYASHI, 2015). O magnésio também é transportado da solução do solo às raízes, principalmente via fluxo de massa, assim, sua saturação no solo deve estar entre 10 e 20% para propiciar o adequado desenvolvimento das plantas (DECHEN; NACHTIGAL, 2007; MARSCHNER; RENGEL, 2012).

A fonte de menor relação custo/benefício e mais usada pelos produtores para o fornecimento de Mg ao solo é o calcário (FONTOURA *et al.*, 2019). Isto porque a deficiência de magnésio está rotineiramente associada à falta de Ca, acidez elevada e alta saturação por alumínio nos solos. Porém, deve-se atentar à proporção de Ca/Mg contidas nos calcários, devido a competição pelos mesmos sítios de absorção por esses elementos nas raízes. É recomendável que se mantenha uma relação Ca/Mg entre 3 e 4, no solo, a fim de proporcionar absorção equilibrada para as culturas ali implantadas (SALVADOR *et al.*, 2011). No entanto, na prática, acredita-se que os teores de Ca e Mg adequados podem ser mais importantes do que apenas a relação entre os nutrientes, quando os teores estão abaixo dos valores críticos.

Para alcançar altas produtividades com as culturas agrícolas, principalmente em solos altamente intemperizados e ácidos, que é o caso de grande parte dos solos brasileiros, é imprescindível a utilização de corretivos como o carbonato de cálcio e magnésio, para a correção da acidez, solubilização de alumínio tóxico, fornecimento adequado de Ca e Mg, em quantidades adequadas (PAULETTI *et al.*, 2014; RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

Maiores doses de calcário aplicadas em superfície poderá causar o aumento do pH, dos teores de Ca e Mg, e, conseqüentemente, a disponibilidade dos macronutrientes, enquanto a disponibilidade da maioria dos micronutrientes é reduzida com o aumento do pH (MOREIRA *et al.*, 2017). Em função disso, diversos estudos já foram realizados buscando definir quando é necessário a aplicação de calcário em culturas anuais cultivadas em solos sob sistema de plantio direto (CAIRES, 2013). Por outro lado, esses estudos são escassos para a cultura do café, sendo, portanto, importante avaliar a eficiência do calcário aplicado na superfície de lavouras cafeeiras, sem incorporação, como proposto neste estudo.

2.3 Importância da calagem

A grande maioria dos solos brasileiros são naturalmente pobres em nutrientes e com predominância de argilominerais de baixa capacidade de retenção de cátions (CTC), como as argila do tipo 1:1 e os óxidos de ferro e alumínio (ABREU JR. *et al.*, 2001; NEPAR, 2019).

No entanto, trata-se de solos que possuem características físicas adequadas (BRILHANTE *et al.*, 2017). Dessa forma, para a incorporação desses solos para produção de café, é indispensável a correção prévia da acidez. Principalmente os solos de fronteiras agrícolas para a cultura, apresentam acidez elevada, baixa CTC e baixos teores de bases trocáveis, como Ca e Mg, além dos baixos teores de S (TOMAZ; AMARAL, 2008).

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café no Brasil, produzindo 51% de todo o café do país (CONAB, 2020). A expansão do café em Minas Gerais tem ocorrido na região dos solos sob cerrado. Trata-se de solos dotados de boas propriedades físicas, porém, com características químicas inadequadas, tais como: elevada acidez, altos teores de Al trocável e deficiência de nutrientes, especialmente de Ca, de Mg e de P (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999; BRILHANTE *et al.*, 2017).

A aplicação de calcário em solos de alta acidez é de extrema importância, por ser composto por carbonato de cálcio que tem a capacidade de fornecer íons OH⁻, responsáveis pela neutralização do H⁺ e Al³⁺ (MIJANGOS *et al.*, 2010; PAULETTI *et al.*, 2014; BORTOLINI *et al.*, 2016). Além disso, favorece a mineralização da MO acumulada e permite a liberação de P sequestrado devido à dissolução de fosfatos de alumínio e ferro (BARDGETT, 2005; FAGERIA; NASCENTE *et al.*, 2014).

A necessidade de calagem não está somente relacionada com o pH do solo, mas também com a sua capacidade tampão e sua CTC (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999). Solos mais tamponados (mais argilosos) necessitam de maiores quantidades de calcário para aumentar seu pH do que os menos tamponados (mais arenosos). A capacidade tampão relaciona-se diretamente com os teores de argila e de MO no solo, assim como o tipo de argila (DONAGEMMA *et al.*, 2016).

Os critérios de recomendação de calagem são variáveis segundo os objetivos e princípios analíticos envolvidos, além do próprio conceito de necessidade de calagem que irá depender do objetivo dessa prática (SOUSA, 2007). Assim, a necessidade de calagem é a quantidade de corretivo necessária para diminuir a acidez do solo, de uma condição inicial até um nível desejado, ou é a dose de corretivo necessária para se atingir a máxima eficiência econômica de definida cultura, o que significa ter definida quantidade de Ca e de Mg disponíveis no solo e condições adequadas de pH para boa disponibilidade dos nutrientes em geral (RAIJ, 2011).

Visto a importância da aplicação de calcário, é de extrema necessidade a realização de novos trabalhos visando quantificar doses que implementem maiores produtividades às culturas agrícolas e, principalmente, a cafeicultura.

2.4 Calagem para manutenção da correção da acidez em cafezais em produção

Em virtude do caráter perene, o cafeeiro adulto requer uma técnica de calagem em que o calcário seja aplicado na superfície do solo sob a projeção da copa das plantas ou entre as linhas de plantio, sendo, neste caso, impraticável a incorporação em profundidade por meios mecânicos e sem afetar o sistema radicular das plantas (CHAVES *et al.*, 1984).

Nas lavouras com culturas anuais cultivadas sob sistema de plantio direto, o calcário é aplicado na superfície, sem incorporação. Inúmeros trabalhos já demonstraram que a calagem superficial corrige a acidez do solo no curto prazo apenas na camada superficial (0,0 a 0,05 ou 0,0 a 0,1 m) (CAIRES *et al.*, 2006; SCHONINGER *et al.*, 2010; RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015; CRUSCIOL *et al.*, 2016 ; JORIS *et al.*, 2016). Embora seja lenta, com o tempo ocorre melhoria da acidez do subsolo, particularmente em solos de carga variável (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1996; MOREIRA *et al.*, 2001; ERNANI *et al.*, 2004; CALEGARI *et al.*, 2013; BORTOLUZZI *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2014; PAULETTI *et al.*, 2014 ; JORIS *et al.*, 2016).

O movimento do calcário para profundidades maiores varia de acordo com o momento e a dose de calcário, tipo de solo, pH da superfície do solo, condições climáticas, manejo de fertilizantes ácidos e sistemas de cultivo (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1996; MOREIRA *et al.*, 2001; ERNANI *et al.*, 2004; CAIRES *et al.*, 2005; CAIRES *et al.*, 2006; CAIRES, 2013; MILLER, 2015).

A calagem realizada na superfície a uma taxa relativamente alta e a longo prazo, forma uma frente de alcalinização que pode corrigir a acidez do subsolo (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1996; TANG *et al.*, 2003; CAIRES *et al.*, 2015;). Quanto maior for a dose de calcário mais profundo será seu efeito na correção da acidez do solo (RHEINHEIMER *et al.*, 2000; ÁLVAREZ *et al.*, 2009; CALEGARI *et al.*, 2013; RODRIGHERO *et al.*, 2015; TIRITAN *et al.*, 2016). Os efeitos são mais pronunciados quando se faz a aplicação da dose toda de uma vez, em vez de seu parcelamento (FONTOURA *et al.*, 2019). A solubilidade do calcário é reduzida em pH do solo próximo a neutralidade, então, mesmo que a camada subsuperficial esteja muito ácida, se o calcário for aplicado na superfície em que uma pequena camada esteja

com o pH (H₂O) acima de 6, este não será solubilizado. e, conseqüentemente, não formará a frente alcalinizante no solo (ALLEN; HOSSNER, 1991; MILLER, 2015; ZOCCA; PENN, 2017).

Comparativamente às áreas com culturas anuais, na cafeicultura, há poucos trabalhos avaliando-se os efeitos do calcário aplicado na superfície, sem incorporação. Um dos poucos estudos é o trabalho de Chaves *et al.* (1984), que trabalhou com calagem superficial em duas lavouras adultas de café no Paraná, no sistema de cultivo em moitas, com espaçamento 4x4 m e 4 x 2,5 m, que é totalmente diferente do método adotado nos sistemas de cultivo atuais, e com produtividades muito abaixo do considerado viável na atualidade. Por isso, é importante que se faça novos estudos com aplicação de calcário em superfície em lavouras cafeeiras. Devem ser avaliados os efeitos na correção da acidez, na redução da toxicidade do alumínio, no fornecimento de cálcio e magnésio, nos teores de micronutrientes e nos valores de V%, aliando a efeitos na produtividade.

Tendo em vista a grande importância da calagem para os solos e as culturas agrícolas brasileiras, é fundamental que, antes da implantação de uma cultura ou sistema produtivo, se faça as devidas correções de solo, a fim de alcançar pelo menos os níveis críticos de acidez, saturação por alumínio e disponibilidade de nutrientes para a cultura, ou pensando no sistema, para as culturas a serem implantadas na área, visando a maior produtividade das mesmas (NEPAR, 2019).

Para a melhor correção do solo, é necessário fazer análises químicas e físicas do mesmo, de posse dos resultados se faz os cálculos de necessidade de calagem e a escolha do corretivo, como o carbonato de cálcio e magnésio, que é o corretivo mais utilizado no Brasil (FONTOURA *et al.*, 2019). O carbonato de cálcio e magnésio possui baixa mobilidade no solo e para uma correção efetiva deve-se incorporá-lo o mais profundo possível, considerando a profundidade alcançada pelo sistema radicular das culturas e a capacidade do implemento agrícola disponível, sendo que a sua aplicação e incorporação deve ser de forma homogênea visando corrigir toda a camada arável deste solo (LI *et al.*, 2019).

É desejável que a aplicação do calcário seja realizada em toda a superfície do solo com posterior incorporação por meio da aração, com arado de disco ou aiveca, ou com grades aradoras, que cortam e reviram o solo, misturando o corretivo às partículas do solo. Porém, em algumas situações, não é recomendável fazer o revolvimento do solo, como no caso de sistema de plantio direto já consolidado e lavouras perenes já implantadas. No caso das

lavouras perenes, ao fazer o revolvimento do solo, é feito também o corte do sistema radicular das plantas, o que é muito prejudicial.

Desta forma, torna-se inviável a incorporação de calcário nestes casos, por isso, se faz apenas a aplicação superficial. E no caso de se fazer apenas a aplicação superficial (visto que o calcário tem movimentação limitada no solo), é recomendado fazer os cálculos, diminuindo a quantidade de aplicação de calcário fazendo a correção para a profundidade. Devido a baixa mobilidade do calcário, quando este é aplicado na superfície do solo as mudanças no pH, e nos teores de alumínio tóxico ocorrem inicialmente somente nas camadas de 0,0 a 0,05 m de profundidade (SCHONINGER *et al.*, 2010; RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

Por outro lado, Vieira *et al.* (2016) após dois anos e Pauletti *et al.* (2014) após seis anos de estudo, encontraram efeitos do calcário aplicado em superfície do solo em sistema de plantio direto com culturas anuais em até 0,2 m de profundidade. Chaves *et al.* (1984), trabalhando em um latossolo vermelho escuro distrófico (Led) e em um latossolo roxo distrófico (Lrd) encontraram ligeiro aumento do pH, Ca, Mg e CTC potencial, e diminuição do Al até 0,3 m de profundidade após um ano da aplicação superficial de calcário em lavouras de café. Sorato e Cruciol (2008) trabalhando com aplicação superficial de calcário em sistema de plantio direto recém-implantado observaram efeitos benéficos do calcário até 0,4 m de profundidade e Fontoura *et al.* (2019) constataram correção do calcário até 0,6 m de profundidade. Então, é possível admitir que o calcário, apesar de pouco móvel, apresenta alguma mobilidade no solo, porém, depende de alguns fatores, como doses maiores, pH do solo, dependência de canaliculos no solo, disponibilidade de ligantes orgânicos e principalmente tempo para que esse calcário atinja a correção da subsuperfície (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1996; RHEINHEIMER *et al.*, 2000; FRANCHINI *et al.*, 2001; CALEGARI *et al.*, 2013; ZOCCA; PENN, 2017).

Dependendo da dose, das características químicas, físicas e biológicas do solo, o calcário pode levar de 28 a 68 meses para sua total reação no solo em superfície e no subsolo (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1994; CAIRES *et al.*, 2000; RHEINHEIMER *et al.*, 2000; CAIRES *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2016), com seu efeito podendo permanecer até pelo menos 84 meses após a aplicação (BRIEDIS *et al.*, 2012;), mantendo-se até acima de 120 meses após a aplicação (CAIRES *et al.*, 2005). RHEINHEIMER *et al.* (2018), avaliando efeitos da calagem em superfície em sistema de plantio direto, constataram que mesmo após 24 anos depois da aplicação do calcário, o solo não retornou ao seu estado natural de acidez, mostrando o grande poder residual do calcário.

2.5 Supercalagem

Como já mencionado, a correção de solo com calcário apresenta diversos benefícios, corrige o pH, neutraliza o Al tóxico, diminui a disponibilidade de Mn deixando de ser tóxico, além de fornecer Ca e Mg, favorecendo o estabelecimento e altas produções de culturas, em solos antes considerados inúteis para a produção agrícola (RHEINHEIMER *et al.*, 2018; FONTOURA *et al.*, 2019).

Quando se faz a aplicação de calcário sem a utilização de critérios técnicos, não realizando análises prévias das características físicas e químicas do solo, muito provavelmente não serão alcançadas as devidas correções e o correto fornecimento dos nutrientes. A utilização de uma dose maior que a recomendada para o solo a ser corrigido, pode inclusive, ocasionar a elevação exacerbada do pH do solo, acarretando na supercalagem (DA SILVA CARNEIRO *et al.*, 2018).

Doses muito elevadas de calcário podem ser chamadas de supercalagem, que é o aumento da alcalinidade do solo, elevando o pH a patamares superiores a 7. Esse aumento acentuado de pH reduz a disponibilidade de alguns nutrientes, principalmente dos micronutrientes Zn, Fe, Cu e Mn e do macronutriente P (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999; MOREIRA *et al.*, 2017). Sousa *et al.* (2007) afirmam que a calagem em excesso é tão prejudicial quanto a acidez elevada e ainda possui o complicador de se ter uma correção mais difícil para o problema gerado. Com a supercalagem também há o aumento da concentração de cálcio e magnésio no solo, que vão competir entre si e com outros cátions, como o potássio, pelos mesmos sítios de absorção nas raízes das plantas, fazendo com que as plantas fiquem deficientes mesmo com o solo apresentando o nutriente em questão (RAIJ, 2011; DA SILVA CARNEIRO *et al.*, 2018).

Em lavouras cafeeiras, regularmente são feitas de três a quatro pulverizações foliares com micronutrientes no período entre a pré-floração e o enchimento de grãos, de forma preventiva e corretiva à deficiência de minerais (LOPES, 2000). Sendo assim, pode ser que o fornecimento via foliar dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn venha a disponibilizar esses micronutrientes que tiveram sua disponibilidade diminuída no solo pela supercalagem, atenuando os efeitos da mesma na cultura do café.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Os trabalhos foram desenvolvidos em condições de campo, em áreas experimentais localizadas na mesorregião do Campo das Vertentes, sobre Latossolo Vermelho-Amarelo, argiloso (Fazendas Samambaia e Frade). O clima da mesorregião é temperado chuvoso (Cwa), com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média do mês mais quente é de 30 °C, e do mais frio, 11 °C. Os experimentos foram conduzidos de forma independente em dois locais.

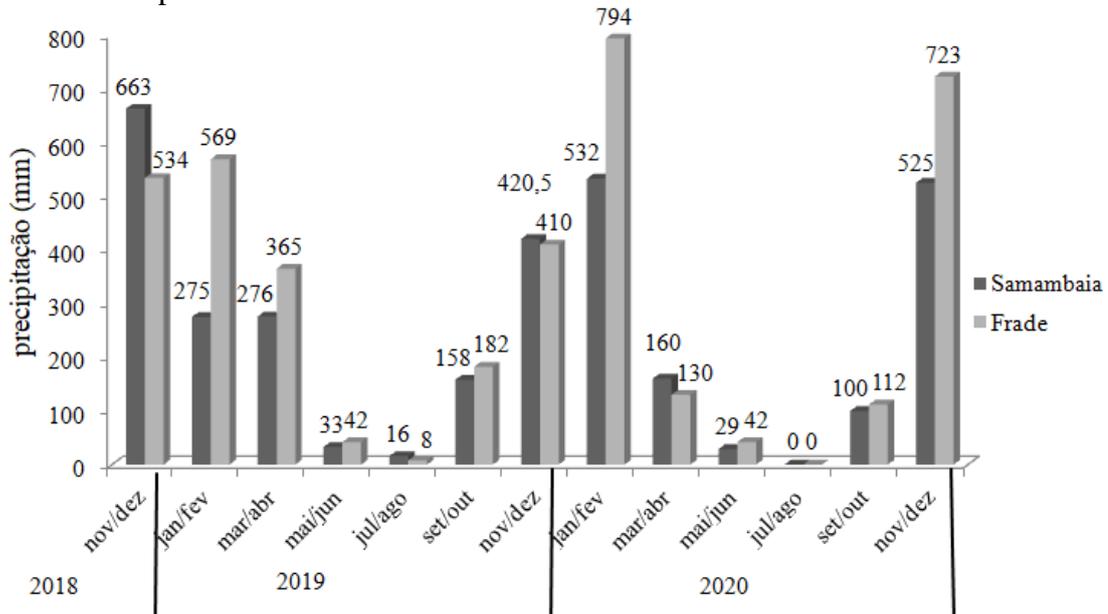
O experimento 1 fica na zona rural do município de Santo Antonio do Amparo, em Minas Gerais, em área de produção de café localizada na Fazenda Samambaia. A área designada para a instalação do experimento possui 0,22 hectares, localizada nas coordenadas geográficas latitude 20°97'63.26" Sul e longitude 44°86'58.40" Oeste, com altitude média de 974 metros em uma lavoura de café arábica, cultivar Catucaí 2SL. A lavoura foi implantada no ano de 2006, com espaçamento de 3,5 metros de entre linhas e 0,80 entre plantas e submetida a uma poda do tipo esqueletamento dois meses antes da implantação do experimento, que ocorreu no dia 30/10/2018.

O experimento 2 fica na zona rural do município de Nazareno em Minas Gerais, em área de produção de café da Fazenda do Frade. A área designada para a instalação do experimento possui 0,22 hectares, localizada nas coordenadas geográficas latitude 21°20'45.13" Sul e longitude 44°66'25.48" Oeste, com altitude média de 910 metros. A lavoura de café arábica foi implantada no ano de 2008, com cultivar do grupo Mundo Novo, adotando-se o espaçamento de 3,5 metros nas entre linhas e 0,80 m entre plantas. A lavoura foi submetida a uma poda do tipo esqueletamento dois meses antes da implantação do experimento, que ocorreu no dia 31/10/2018.

Antes da instalação dos experimentos na área da Fazenda Samambaia, já haviam sido realizadas calagens superficiais nos anos de 2009, 2010, 2011, 2016 e 2017, nas quantidades de 2,5, 3,2, 1,4, 1,2 e 1,9 Mg.ha⁻¹, respectivamente. Já na Fazenda do Frade foram realizadas calagens superficiais nos anos de 2014 e 2017 nas quantidades de 2,1 e 1,3 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

Na Figura 1 estão apresentados os dados pluviométricos bimestrais das duas fazendas. Os dados foram cedidos pelos produtores que fazem leituras diárias com pluviômetro.

Figura 1 - Precipitações pluviométricas bimestrais ocorridas durante o período dos experimentos nas Fazendas Samambaia e Frade - MG.



Fonte: Do autor (2021).

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos casualizados (DBC), com cinco doses de calcário (0, 3, 6, 12 e 24 toneladas por hectare), aplicadas em superfície (sem incorporação) e quatro repetições. Cada parcela contou com 20 plantas em uma mesma linha de plantio, sendo as 10 plantas centrais consideradas como úteis. As parcelas foram distribuídas em nove linhas de plantio em cada experimento (cinco parcelas por linha de plantio), com uma linha como bordadura entre as que continham as parcelas e duas externas.

O calcário utilizado possuía poder relativo de neutralização total - PRNT de 95%, poder de neutralização - PN de 100%, 36% de CaO e 12% de MgO.

3.3 Instalação e condução do experimento

Antes da instalação dos experimentos, foram coletadas na projeção da copa do cafeeiro, 20 amostras do solo das áreas experimentais nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,20 a 0,4 m, que foram misturadas individualmente por camada para compor as amostras compostas analisadas. Foram determinados os valores de pH, os teores de K, Ca, Mg, Al, H+Al, matéria orgânica (M.O.), Cu, Fe, Mn, Zn e B, e calculados a capacidade de troca

catiônica (T) e saturação por bases (V%), de acordo com Silva (2009). As características químicas obtidas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades químicas dos solos, em diferentes profundidades, antes da instalação dos experimentos.

Prof.	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	M.O	B	Cu	Fe	Mn	Zn
m	H ₂ O	----- cmol _c .dm ⁻³ -----					----%----			-----mg.dm ⁻³ -----				
Fazenda Samambaia														
0,0 - 0,2	5,9	0,32	2,40	1,1	0,0	2,3	6,13	63	2,6	0,40	2,5	53,8	7,8	2,1
0,2 - 0,4	5,4	0,27	1,30	0,7	0,0	2,5	4,78	48	1,9	0,38	2,0	55,2	4,4	0,4
Fazenda do Frade														
0,0 - 0,2	6,0	0,42	2,32	0,73	0,1	1,82	5,29	66	2,4	5,20	1,3	34,3	9,3	1,7
0,2 - 0,4	5,5	0,23	1,32	0,48	0,1	2,99	5,19	42	2,2	1,19	1,2	20,4	4,2	0,8

Fonte: Do autor (2021).

Os experimentos foram implantados em outubro de 2018, no dia 30/10/18 na Fazenda Samambaia, e no dia 31/10/18 na Fazenda do Frade. A aplicação do calcário foi feita de forma manual, distribuído em toda superfície do solo, sem reaplicação durante o tempo de condução dos experimentos.

Os tratos culturais como adubações, controle fitossanitário, controle de plantas daninhas e desbrotas, seguiram o planejamento do responsável técnico de cada fazenda, sem variações para as parcelas, com o cuidado de não utilizar produtos contendo cálcio e magnésio. As adubações nitrogenadas realizadas na Fazenda Samambaia nas safras 2018/2019 e 2019/2020 totalizaram 186 e 250 kg.ha⁻¹ de N, e na safra 2020/2021 até dezembro, quando foi realizada a última avaliação do estudo totalizou 148 kg.ha⁻¹ de N. Já na Fazenda do Frade, as adubações com nitrogênio na safra 2018/2019 e 2019/2020 totalizaram 196 e 228 kg.ha⁻¹ de N, enquanto na safra 2020/2021 até dezembro totalizou 136 kg.ha⁻¹ de N.

3.4 Avaliações

3.4.1 Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras de solo

Nos dois locais, as amostras de solo foram coletadas sempre em meados do mês de maio de cada ano, exceto na primeira amostragem na Fazenda do Frade, que foi realizada no mês de junho de 2019, para cumprir o prazo de pelo menos 60 dias após a última adubação. As amostras de cada parcela foram coletadas sob a projeção da copa das plantas, com trado holandês nas profundidades de 0,0 a 0,1, 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, em número de seis amostras simples por parcela, que constituíram uma amostra composta. As amostras compostas foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhados para o laboratório, onde foram secas em galpão de exaustão com temperatura não superior a 40 °C, destorroadas, e passadas em peneira de malha 2 mm.

Nas camadas de 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m foram determinados os valores de pH, os teores de Ca, Mg, Al, H+Al e dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) e na camada de 0,2 a 0,4 m, não foram determinados teores de micronutrientes. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com as metodologias de Silva (2009). Foram calculados os valores de saturação por bases.

3.4.2 Coleta, preparo e quantificação de nutrientes nas amostras foliares

Para a análise foliar, em cada parcela experimental, foram coletadas folhas do ramo localizado no terço médio das plantas, com aparência sadia e totalmente expandidas, sendo amostradas duas folhas localizadas no terceiro ou quarto pares, a partir do ápice de ramos plagiotrópicos (MARTINEZ *et al.*, 1999). As amostras foram compostas de 20 folhas coletadas nas 10 plantas da área útil de cada parcela experimental. As amostragens de folhas aconteceram sempre no início de dezembro de todos os anos do experimento, com pelo menos 30 dias após a última adubação e pulverização. Após a coleta, o material vegetal foi seco em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura entre 60 a 65 °C, até atingir peso constante. O material foi moído em moinho tipo Wiley de aço inox, usando-se peneira de 20 mesh. Nas amostras de folha foram determinados os teores de K, Ca, Mg, Mn, Zn, B, Cu e Fe, conforme métodos descritos por Malavolta *et al.* (1997).

3.4.2 Produtividade

Como as plantas foram esqueletadas em 2018, não havendo, portanto, produção no ano de 2019, para as avaliações de produtividades em 2020, foram colhidas as 10 plantas da parcela útil do experimento. A produtividade foi medida em volume (litros) de café colhido por parcela (10 plantas). Posteriormente, foi retirada uma amostra de 3 litros de café por parcela, que foi identificada e seca até a umidade de 11%, seguido de beneficiamento e posterior pesagem, a fim de calcular o rendimento de grãos. Com a avaliação em volume e o rendimento de grãos de cada parcela foi possível calcular a produtividade de café beneficiado por hectare, considerando o número de plantas e o espaçamento de plantio da área experimental.

3.4.3 Tamanho e qualidade sensorial dos grãos

Foi retirada uma amostra de 25 litros de café colhido em cada parcela. Destas, foram selecionadas manualmente cinco litros de frutos totalmente maduros que foram secos em bandejas de tela, de forma a preservar a qualidade da bebida proveniente de cada parcela. Quando as amostras atingiram umidade de 11%, foram retiradas das bandejas e acondicionadas em sacos de papel por 30 dias, para que fossem beneficiadas, em beneficiador de amostras no setor de cafeicultura da UFLA. Posteriormente, as amostras passaram por

classificação de tamanhos de grãos, avaliando-se a porcentagem de grãos que ficaram retidos na peneira 16. Depois, essas amostras foram torradas e analisadas sensorialmente por *Q-Grader* certificado, seguindo o protocolo da Associação de Cafés Especiais – SCA (LINGLE, 2001).

3.4.4 Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se o Software Sisvar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente serão apresentados os resultados das aplicações das diferentes doses de calcário nos valores de pH, saturação por bases (V%) e CTC potencial (T), além dos efeitos nos teores de Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo. Posteriormente, será realizada uma discussão desses resultados com base na literatura disponível. Finalmente, serão apresentados e discutidos os resultados da aplicação das doses de corretivos na concentração de nutrientes nas folhas e na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos do cafeeiro.

4.1 Resultados da aplicação das doses de calcário nos atributos químicos do solo

4.1.1 Resultados observados no primeiro ano após a aplicação das doses de corretivo

A aplicação das doses crescentes de calcário não alterou os valores de pH, V% e T e os teores de Ca, Mg, Al, H+Al, além dos teores de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn do solo, em nenhuma das profundidades analisadas na Fazenda Samambaia (TABELA 2). Essa avaliação foi realizada após 195 dias da aplicação do corretivo em superfície, com cerca de 1440 mm de precipitação acumulada.

Se considerado os valores de pH propostos por Alvarez e Ribeiro (1999), a classe agrônômica de pH em água tida como adequada é de 5,5 a 6,0. Assim, os valores de pH do solo na camada de 0,0 a 0,1 m na Fazenda Samambaia (TABELA 2) se mantiveram dentro desta classe, sem diferenças causadas pela aplicação das doses de corretivo. Nas demais profundidades, os valores de pH se encontravam dentro da classe baixa (4,5 a 5,4), não sendo também afetados pelas doses de calcário.

Os teores de Ca e Mg no solo da Fazenda Samambaia, na análise de solo realizada em maio de 2019, se mantiveram abaixo do nível crítico recomendado por Alvarez e Ribeiro (1999), que é 2,4 e 0,9 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, respectivamente. E como já mencionado, em todas as profundidades também não foram afetados pela aplicação de corretivo. Os teores de alumínio permaneceram na classe muito baixo ($\leq 0,2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), também em todas as profundidades, sem influência das doses de calcário. A acidez potencial (H+Al) teve comportamento parecido em todas as profundidades, mantendo-se entre as classes baixo e médio, ou seja, 1,01 a 2,50 e 2,51 a 5,00 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, respectivamente.

Os valores de V% e a CTC potencial nas profundidades de 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m se mantiveram na classe média, ou seja, 40,1 a 60,0% para V% e 4,31 a 8,60 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para T.

Por sua vez, na profundidade 0,2 a 0,4 m, os valores de V% apresentaram-se entre as classes baixa e médio, sendo de 20,1 a 40,0 e 40,1 a 60,0 %, respectivamente, e os valores de T, na classe média.

Os micronutrientes foram analisados apenas nas profundidades de 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m. e nenhum deles teve os teores afetados pelas doses crescentes de calcário. Respeitando as classes de fertilidade sugeridas por Alvarez e Ribeiro (1999), o B se manteve na classe considerada adequada (0,6 a 0,9 mg.dm⁻³) nas duas profundidades; o Cu para as duas profundidades analisadas permaneceu na classe alta, ou seja, > 1,8 mg.dm⁻³. Por sua vez, o Mn nas duas profundidades apresentou teores variando de baixo a alto, ou seja, de 3 a 5 e > 12 mg.dm⁻³, respectivamente, mas não apresentou diferenças significativas entre as doses de calcário.

Na camada superficial (0,0 a 0,1 m), o Fe manteve-se na classe considerada adequada (31,0 a 45,0 mg.dm⁻³), exceto para a dose 12 toneladas por hectare, que ficou na classe médio (19,0 a 30,0 mg.dm⁻³). Por outro lado, na profundidade 0,1 a 0,2 m, os teores observados nas amostras de solos de todos os tratamentos se mantiveram na classe adequada, exceto na maior dose (24 toneladas por hectare), em que se apresentou na classe alto > 45,0 mg.dm⁻³. Porém, apesar das pequenas diferenças, as mesmas não foram significativas ao nível de 5% no teste F, como já discutido. Por sua vez, os teores de Zn na profundidade 0,0 a 0,1 m nas amostras de todos os tratamentos permaneceram na classe alta, ou seja, acima de 2,2 mg.dm⁻³. Por sua vez, na profundidade 0,1 a 0,2 m, os teores variaram entre adequado e alto, com valores entre 1,6 a 2,2 e > 2,2 mg.dm⁻³, respectivamente.

Tabela 2 - Efeito da calagem nos atributos químicos das diferentes profundidades do solo, na Fazenda Samambaia, no ano de 2019, após 195 dias da aplicação superficial de diferentes doses de calcário. (conclusão)

Dose	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	T
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	5,4	27,1	32,5	85,5	18,2	23,3	22,8	30,1	97,6	28,4	17,2	12,3
Camada de 0,2 a 0,4 m												
0	5,1	1,1	0,4	0,1	2,5	-	-	-	-	-	40,1	4,3
3	5,3	1,2	0,5	0,1	2,5	-	-	-	-	-	42,4	4,4
6	5,2	1,1	0,4	0,2	2,8	-	-	-	-	-	37,4	4,4
12	5,1	1,1	0,4	0,1	2,8	-	-	-	-	-	39,2	4,6
24	5,3	1,0	0,4	0,1	2,6	-	-	-	-	-	40,0	4,3
R²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	NS	NS
C.V	4,6	30,2	39,3	86,1	17,0	-	-	-	-	-	22,4	13,1

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

Fonte: Do autor (2021).

A aplicação de calcário na superfície do solo da Fazenda do Frade, também não alterou as características químicas do solo aos 220 dias após a aplicação, e após a precipitação média de 1247 mm, nas três profundidades, exceto os teores de H+Al e os valores de V%, na profundidade de 0,0 a 0,1 m (TABELA 3).

Tabela 3 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo na fazenda do Frade, no ano de 2019, 220 dias após a aplicação de diferentes doses de calcário. (conclusão)

Dose	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	T
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	3,8	14,6	18,6	41,5	10,9	41,6	10,6	17,0	46,8	23,7	9,0	7,4
Camada de 0,2 a 0,4 m												
0	5,2	1,0	0,3	0,2	2,3	-	-	-	-	-	41,8	3,9
3	5,2	1,1	0,3	0,2	2,5	-	-	-	-	-	40,1	4,2
6	5,5	1,5	0,4	0,1	2,1	-	-	-	-	-	52,1	4,4
12	5,3	1,1	0,3	0,5	2,3	-	-	-	-	-	41,9	4,0
24	5,4	1,1	0,3	0,2	2,5	-	-	-	-	-	42,1	4,2
R²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	NS	NS
C.V	5,4	25,9	23,5	89,5	8,5	-	-	-	-	-	14,1	9,9

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

Fonte: Do autor (2021).

Os valores de pH da camada 0,0 a 0,1 m do solo na Fazenda do Frade, não variaram com a aplicação superficial das doses crescentes de calcário. Em alguns tratamentos, os valores pH se apresentam na classe adequada e, em outros, na classe alta, ou seja, de 5,5 a 6,0 e 6,1 a 7,0, respectivamente, de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999). Por sua vez, nas camadas de 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, os valores de pH ficaram na classe baixa, também não apresentando diferenças entre os tratamentos (TABELA 3).

Os teores de Ca na camada 0,0 a 0,1 m estiveram na classe de fertilidade considerada adequada (2,41 a 4,0 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999). Na camada 0,1 a 0,2 m, os teores de cálcio ficaram na classe médio de fertilidade (1,21 a 2,40 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$). Por sua vez, na camada 0,2 a 0,4, os teores de Ca na maioria dos tratamentos permaneceram na classe de fertilidade baixa (0,41 a 1,20 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), exceto para o tratamento em que foram aplicadas 6 toneladas por hectare, em que houve uma pequena diferença, com teores dentro da classe médio, porém, com diferença não foi significativa pelo teste F (TABELA 3).

No caso dos teores do Mg, em todos os tratamentos e profundidades, os teores observados estiveram abaixo do nível considerado crítico. Na camada 0,0 a 0,1 m, os teores apresentaram-se na classe médio, ou seja, de 0,46 a 0,90 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, e nas demais camadas, os teores de Mg se encontraram na classe baixa (0,16 a 0,41 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$).

No caso da acidez trocável, por sua vez, não foi observado Al^{3+} na camada superficial. Além disso, na camada 0,1 a 0,2 m, todos os tratamentos apresentaram teores dentro da classe muito baixa (0,1 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999). Por outro lado, na camada 0,2 a 0,4 m, os teores foram um pouco mais elevados, mas situando-se dentro da classe baixa (0,21 a 0,50 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$).

A acidez potencial (H+Al), independentemente da dose de calcário aplicada e da profundidade avaliada, se manteve na classe de fertilidade considerada baixa, que é de 1,01 a 2,50 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999). Para os valores de V%, na camada de 0,0 a 0,1 m de profundidade, os valores se encaixam na classe de fertilidade considerada adequada (60,1 a 80,0 %), descrita por Alvarez e Ribeiro (1999), exceto na maior dose, em que permaneceu na classe média, com valores entre 40,1 a 60,0 %. Mas, apesar desta diferença numérica, não foi detectada diferença significativa no teste F. Os valores de T nas camadas de 0,0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m se encontravam na classe médio, de 4,31 a 8,6 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$; na camada 0,2 a 0,4 m os teores observados nas amostras da maioria dos tratamentos, estiveram dentro da classe baixa 1,61 a 4,30 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, exceto para a dose 6 toneladas por hectare, que apresentou 0,1 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, acima do limite superior da classe baixa, encontrando-se assim, na classe média, mas sem diferenças significativas.

Os micronutrientes foram analisados apenas nas profundidades de 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m. e não foram modificados pelas doses crescentes de calcário aplicadas. Os teores de B na camada 0,0 a 0,1 m se mantiveram na classe considerada adequada (0,61 a 0,9 mg.dm⁻³), segundo Alvarez e Ribeiro (1999); na camada 0,1 a 0,2 m, na maioria dos casos, os teores que se encaixam na classe média 0,36 a 0,6 mg.dm⁻³, exceto nas parcelas sem aplicação de corretivo.

Por sua vez, os teores de Cu, independentemente da dose de calcário aplicada e da profundidade analisada se encontraram na classe considerada adequada, ou seja, de 1,3 a 1,8 mg.dm⁻³. No caso dos teores de Fe, na camada 0,0 a 0,1 m, os valores se encontraram na classe média (19 a 30 mg.dm⁻³), e com todos os valores abaixo do nível considerado crítico por Alvarez e Ribeiro (1999). Na camada 0,1 a 0,2 m, em alguns tratamentos (6 e 24 toneladas por hectare) os teores foram ligeiramente mais altos que os demais, dentro da classe considerada adequada (31 a 45 mg.dm⁻³); nos demais casos, os teores se encontravam dentro da classe média. No caso do Mn, os teores se encontraram nas classes média e baixa, para as camadas 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m, respectivamente. Por sua vez, os teores de Zn na camada superficial estavam altos (> 2,2 mg.dm⁻³), independentemente dos tratamentos; na camada 0,1 a 0,2 m, os teores figuraram na classe média 1,0 a 1,5 mg.dm⁻³, exceto no tratamento 12 Mg.ha⁻¹, que ficou na classe baixa 0,5 a 0,9 mg.dm⁻³, que apesar desta pequena diferença não foi significativa.

4.1.2 Resultados observados no segundo ano após a aplicação das doses de corretivo

No segundo ano de avaliações das características químicas do solo na Fazenda Samambaia, após 565 dias e 2535 mm acumulados de chuva desde a aplicação das doses de corretivo, pode-se notar uma pequena variação do pH na camada 0,0 a 0,1 m, porém, muito pouco expressiva (TABELA 4). Provavelmente, este fato pode ter ocorrido devido ao efeito de calagens realizadas anteriormente ao início do experimento, visto que o tratamento onde não foi aplicado calcário teve aumento superior a outros tratamentos onde ele foi aplicado. Além disso, o baixo valor do coeficiente de determinação é prova que as variações do pH não estão bem ajustadas ao modelo, ajudando a comprovar que essa variação pode não ter sido causada pela aplicação das doses de calcário.

É possível notar um ligeiro aumento no pH em todos os tratamentos e profundidades nos solos da Fazenda Samambaia nas análises realizadas em 2020 (TABELA 4), em comparação com as realizadas em 2019 (TABELA 2), exceto na dose 24 toneladas por

hectare. Nesta parcela, em todas as profundidades houve uma queda de 0,1 unidade, pouca significativa na prática; observa-se também que nas parcelas com aplicação da dose de 6 toneladas por hectare houve aumentos pouco maiores nas profundidades de 0,0 a 0,1, 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m, sendo de 0,6, 0,4 e 0,3 unidades respectivamente, porém, essas diferenças não foram significativas.

Tabela 4 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo na fazenda samambaia 565 dias após a aplicação das diferentes doses de calcário.

Dose	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	T
Mg.ha ₁	H ₂ O	----- cmol _c .dm ⁻³ -----			-----mg.dm ⁻³ -----			%	cmol _c .dm ⁻³			
Camada de 0,0 a 0,1 m												
0	5,9	3,3	1,3	0,0	3,2	0,7	2,8	26,9	6,9	4,1	59,8	8,0
3	5,9	3,5	1,3	0,1	3,0	0,8	2,5	26,8	6,4	3,6	63,2	8,0
6	6,2	4,1	1,7	0,0	2,7	1,4	2,6	22,4	9,0	5,9	69,3	8,7
12	5,7	3,2	1,3	0,0	3,5	0,8	2,6	23,9	7,5	3,6	57,7	8,2
24	5,5	2,8	1,1	0,1	4,3	0,8	2,9	28,9	7,7	3,9	48,8	8,3
R ²	55,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	L*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	4,8	18,8	17,9	117,9	13,8	60,0	12,9	13,6	19,9	25,1	14,9	11,5
Camada de 0,1 a 0,2 m												
0	5,4	2,2	0,9	0,1	4,4	1,1	2,2	24,7	4,2	1,9	43,8	7,8
3	5,5	2,7	1,0	0,0	4,0	0,9	2,0	25,7	4,4	1,9	50,4	8,0
6	5,7	2,6	1,1	0,0	3,5	0,8	2,0	21,1	5,3	2,3	53,5	7,4
12	5,3	2,3	0,9	0,1	3,9	1,0	2,2	24,9	5,3	1,9	48,0	7,3
24	5,3	2,4	0,9	0,1	4,2	1,0	2,1	27,3	5,1	2,0	45,9	7,8
R ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	5,2	15,5	11,3	195	19,1	42,1	9,2	12,8	25,1	22,2	13,9	8,5
Camada de 0,2 a 0,4 m												
0	5,4	1,8	0,8	0,0	3,3	-	-	-	-	-	45,9	6,1
3	5,4	1,8	0,7	0,0	4,0	-	-	-	-	-	40,7	6,8
6	5,5	2,5	1,0	0,0	4,1	-	-	-	-	-	49,6	7,6
12	5,1	1,8	0,7	0,1	3,6	-	-	-	-	-	43,5	6,4
24	5,2	1,8	0,8	0,0	4,4	-	-	-	-	-	40,3	7,4
R ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	NS	NS
C.V	5,4	18,1	18,9	186,3	18,7	-	-	-	-	-	16,1	8,7

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

Fonte: Do autor (2021).

Em uma comparação numérica, pois não houve avaliação estatística, observa-se que os teores de Ca e Mg também aumentaram em todos os tratamentos e profundidades analisadas, no solo da Fazenda Samambaia em 2020 (TABELA 4), em comparação com as análises realizadas em 2019 (TABELA 2). Porém, também sem diferenças entre as doses de calcário aplicadas. O Ca e o Mg em todos os tratamentos, na camada 0,0 a 0,1 m, saíram da classe de fertilidade média, de 1,21 a 2,4 e 0,46 a 0,9 cmol_c.dm⁻³, respectivamente, no ano de 2019 (TABELA 2), para a classe considerada adequada para Ca e Mg 2,41 a 4,00 e 0,91 a 1,5 cmol_c.dm⁻³, respectivamente. Nas parcelas que receberam a dose de 6 toneladas por hectare,

os teores dos dois nutrientes em 2020 passaram para a classe muito boa, de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999).

Embora não tenha havido diferenças entre os tratamentos, as alterações observadas em todos os tratamentos foram expressivas, mostrando que possivelmente esses aumentos nos teores de Ca e Mg da camada superficial sejam devido às doses de calcário aplicadas anteriormente no local do atual experimento, as quais continuam reagindo no solo.

Por sua vez, os teores de Ca, na camada 0,1 a 0,2 m permaneceram na classe de fertilidade média (1,21 a 2,4 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$); na camada 0,2 a 0,4 m, os teores nas amostras de todos os tratamentos passaram da classe baixa de 0,41 a 1,2 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para a classe média, de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999). Os teores de Mg em todos os tratamentos na camada de 0,1 a 0,2 m saíram da classe de fertilidade considerada média em 2019 para a classe adequada em 2020. Na camada de 0,2 a 0,4 m, saíram da classe baixa em 2019 para a classe média em 2020, para todos os tratamentos. Porém, em cada ano estudado, nenhuma dessas variações teve relação com as doses de calcário.

Os teores de Al também não variaram com as doses de calcário, e continuaram na classe de fertilidade considerada muito baixa por Alvarez e Ribeiro (1999) em todos os tratamentos e em todas as profundidades. Os teores de H+Al sofreram aumento em todas as doses e profundidades, considerando-se os resultados de 2019 (TABELA 2) e 2020 (TABELA 4), mas não tiveram diferenças significativas para as doses de calcário.

Numericamente, os valores absolutos de V% tiveram ligeiros aumentos em todas as doses e profundidades, comparando-se as análises de 2019 (TABELA 2) e 2020 (TABELA 4). As exceções foram para a dose 24 toneladas por hectare na camada 0,0 a 0,1 m; nas doses 0 e 24 toneladas por hectare na camada 0,1 a 0,2 m e dose 3 toneladas por hectare na camada 0,2 a 0,4 m que tiveram ligeiras quedas em seus valores absolutos, porém, permanecendo nas mesmas classes de fertilidade que em 2019 (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999). Os valores de T também tiveram aumentos em todas as doses e profundidades, considerando o ano de 2019 (TABELA 2) para 2020 (TABELA 4), porém, não mudando de classe de fertilidade de um ano para o outro. Nenhuma das variações nos valores de V% e T foi devido as doses de calcário aplicadas.

Os micronutrientes, assim como em 2019, não variaram com as doses de calcário aplicadas nas duas profundidades avaliadas. Porém, pode-se notar um ligeiro aumento no teor absoluto de B nas duas camadas e em todas as doses estudadas, exceto para a parcela sem aplicação de calcário, na camada 0,0 a 0,1 m que permaneceu estável. Numericamente, os teores de Fe diminuíram em todos os tratamentos e profundidades avaliadas, comparando-se

às análises do ano de 2019 para o ano de 2020. Por sua vez, os micronutrientes Cu, Mn e Zn, tiveram numericamente ligeiras variações, mas não seguiram nenhum padrão para as doses e profundidades.

No segundo ano de avaliações das características químicas do solo na Fazenda do Frade, após 564 dias das aplicações das doses de corretivo e cerca de 2540 mm acumulados de chuvas desde a implantação do experimento, com exceção das variações nos teores de Cu (TABELA 5), na camada 0,0 a 0,1 m, os atributos químicos do solo não foram modificados. Porém, em termos práticos, as variações nos teores de Cu são pouco expressivas, e provavelmente pode ter sofrido efeito de calagens e aplicações de adubos realizadas anteriormente ao início do experimento. O baixo valor do coeficiente de determinação mostra que as variações do Cu não estão bem ajustadas ao modelo, ajudando a comprovar que essa variação pode não ter sido causada pela aplicação das doses de calcário.

Apesar de não ser significativo para as doses em estudo, de modo geral, houve ligeiro aumento nos valores absolutos do pH em todas as parcelas, independentemente das doses e profundidades estudadas, comparando-se numericamente os resultados de 2019 (TABELA 3) e 2020 (TABELA 5). As exceções são para a parcela com aplicação da dose 6 toneladas por hectare, na camada 0,0 a 0,1 m e para a dose 24 toneladas por hectare na camada 0,2 a 0,4 m, que não tiveram alterações de um ano para o outro. Como já apontado anteriormente, as variações ocorridas em amostras de todos os tratamentos podem ser reflexo de doses de corretivos aplicadas na área, antes da instalação dos experimentos.

Tabela 5 - Efeito da calagem nos atributos químicos do solo na fazenda do Frade 564 dias após a aplicação de diferentes doses de calcário.

Dose	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V	T	
Mg.ha ⁻¹	H ₂ O	-----cmol _c .dm ⁻³ -----				-----mg.dm ⁻³ -----						%	cmol _c .dm ⁻³
Camada de 0,0 a 0,1 m													
0	6,5	3,1	0,9	0,0	1,9	0,8	1,3	25,1	7,1	1,5	69,6	6,3	
3	6,1	2,6	0,8	0,0	2,6	0,9	1,4	26,4	6,0	1,4	59,3	6,3	
6	6,1	3,0	0,9	0,0	2,3	1,0	1,3	28,3	6,7	2,2	66,2	6,6	
12	6,7	3,3	0,9	0,0	2,1	0,9	1,4	23,5	7,2	1,7	68,6	6,8	
24	6,3	2,9	0,9	0,0	2,5	0,9	1,5	24,7	7,7	1,7	62,5	6,6	
R²	-	-	-	-	-	-	60,8	-	-	-	-	-	
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	L*	NS	NS	NS	NS	NS	
C.V	3,9	17,0	13,5	193,2	26,6	25,9	4,8	23,2	34,3	46,1	11,7	12,0	
Camada de 0,1 a 0,2 m													
0	5,9	1,9	0,6	0,0	2,8	1,0	1,2	25,0	5,9	0,8	52,0	5,7	
3	5,6	1,7	0,6	0,1	2,8	1,5	1,4	27,7	5,3	0,8	52,3	5,4	
6	5,6	1,9	0,7	0,0	2,4	1,2	1,3	28,9	5,3	0,9	55,9	5,4	
12	6,1	2,0	0,7	0,0	2,7	1,1	1,2	22,5	5,5	0,8	53,8	5,8	
24	5,6	1,8	0,6	0,0	2,6	1,3	1,3	27,2	5,4	0,8	51,4	5,4	
R²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
C.V	6,8	28,34	23,8	298,1	18,2	30,9	11,8	15,6	35,6	22,8	14,7	14,6	
Camada de 0,2 a 0,4 m													
0	5,4	1,8	0,5	0,0	3,0	-	-	-	-	-	40,4	5,1	
3	5,3	1,1	0,4	0,1	3,4	-	-	-	-	-	34,6	5,3	
6	5,6	1,6	0,6	0,0	2,9	-	-	-	-	-	46,0	5,4	
12	5,8	1,5	0,5	0,0	2,6	-	-	-	-	-	48,7	5,0	
24	5,4	1,4	0,5	0,0	3,1	-	-	-	-	-	41,7	5,4	
R²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	NS	NS	
C.V	7,56	39,81	30,61	218,9	20,62	-	-	-	-	-	27,34	12,79	

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

Fonte: Do autor (2021).

Numericamente, os teores de Ca e Mg analisados em 2020 (TABELA 5), 564 dias após a aplicação das doses crescentes de calcário na Fazenda do Frade foram geralmente maiores do que aqueles encontrados nas análises de 2019 (TABELA 3), para todos os tratamentos e profundidades. A exceção fica para a parcela que recebeu a dose de 3 toneladas por hectare, na camada 0,0 a 0,1 m. Esta apresentou uma ligeira queda no teor de Ca e manteve o mesmo teor de Mg do ano de 2019. Para a parcela que recebeu a dose 3 toneladas por hectare, a camada de 0,2 a 0,4 m não sofreu alterações no teor de Ca se comparado ao ano de 2019.

Numericamente, a acidez trocável praticamente não foi alterada de 2019 para 2020, mantendo-se totalmente neutralizada na camada superficial ou reduzindo os seus valores nas demais camadas. Os teores absolutos de H+Al tiveram ligeiro aumento em todos os tratamentos e profundidades no ano de 2020 (TABELA 5), comparativamente ao ano de 2019 (TABELA 3), exceto na dose 0 toneladas por hectare na camada de 0,0 a 0,1 m que teve uma pequena queda. Esperava-se que com esses pequenos aumentos nos valores de pH e teores de Ca e Mg que os teores de H+Al diminuíssem, mesmo que em pequena magnitude. Mas, provavelmente, esses pequenos aumentos nos teores de H+Al sejam devido à acidez gerada pela aplicação de altas doses de N utilizadas na cultura do café. O mesmo ocorre em áreas de milho, produzidos sob sistema de semeadura direta nos Estados Unidos (BLEVINS *et al.*, 1986; FOLLETT; PETERSON, 1988; GROVE; BLEVINS, 1988; EDWARDS *et al.*, 1992; FRANZLUEBBERS; HONS, 1996 *apud* MOREIRA *et al.*, 2001).

Numericamente, os valores de V% nas camadas de 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m apresentaram pequeno aumento em seus valores absolutos (TABELA 5), mas sem diferenças significativas pelo teste F. Somente na camada de 0,0 a 0,1 m do solo, nas parcelas que receberam as doses 3 e 6 toneladas por hectare que houve pequenas quedas em valores absolutos. Porém, na camada de 0,2 a 0,4 m esta tendência se inverteu, e somente os valores de V% observados no tratamento que recebeu a dose 12 Mg.ha⁻¹ teve aumento em seus valores absolutos. Os valores de CTC potencial tiveram ligeiro aumento em seus valores absolutos para todas as doses e profundidades analisadas, exceto na dose 3 Mg.ha⁻¹ da camada 0,0 a 0,1 m, em que houve pequena queda em seu valor absoluto.

Assim como em 2019, os micronutrientes (TABELA 5) não foram analisados na camada de 0,2 a 0,4 m. Dentre os micronutrientes, apenas o Cu apresentou diferenças significativas na camada de 0,0 a 0,1 m, porém, estas pouco expressivas, e muito provavelmente não foram influenciadas pelas doses de calcário aplicadas de forma experimental, e sim por calagens e/ou adubações realizadas anteriormente a instalação do

experimento. Os demais micronutrientes não apresentaram variações significativas ao nível de 5% de probabilidade no teste F.

Os teores de B, analisados 564 dias após a aplicação das doses crescentes de calcário, mesmo que sem diferenças significativas, apresentaram quedas numéricas em seus teores absolutos em relação ao ano de 2019 para todas as doses de calcário na camada de 0,0 a 0,1 m. Na camada 0,1 a 0,2 m nas doses 0 e 24 toneladas por hectare apresentaram reduções nos teores de B, já nas demais doses os teores foram os mesmos encontrados no ano anterior.

Numericamente, os teores de Fe na camada de 0,0 a 0,1 m apresentaram ligeiros aumentos em seus teores absolutos nas doses 3, 6 e 12 toneladas por hectare e ligeiras quedas nas doses 0 e 24 toneladas por hectare (TABELA 5). Por sua vez, na camada 0,1 a 0,2 m, independentemente das doses, houve ligeira queda nos teores absolutos de Fe, exceto para a dose 3 toneladas por hectare, em que houve um pequeno aumento em seus teores absolutos, sendo que nenhuma dessas variações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade no teste F.

Os teores de Mn (TABELA 5) geralmente apresentaram pequenos aumentos em seus teores absolutos em relação à análise realizada em 2019 (TABELA 3), nas duas camadas analisadas e para todas as doses, exceto para a dose 3 toneladas por hectare, na camada 0,0 a 0,1 m que apresentou ligeira queda em seu teor absoluto. Também para a dose 24 toneladas por hectare, na camada 0,1 a 0,2 m que não sofreu variação. Por sua vez, o Zn (TABELA 5) apresentou comportamento inverso de um ano para outro, tendo no geral, ligeira queda em seus teores absolutos em todas as camadas analisadas em todas as doses, exceto na dose 12 toneladas por hectare que apresentou um pequeno aumento em relação à análise de 2019 (TABELA 3).

4.1.3 Discussão dos resultados observados nos atributos químicos do solo no primeiro e segundo ano após a aplicação das doses de corretivo

Devido à escassez de trabalhos científicos realizados com calagem em superfície na cultura do café, a discussão foi embasada em resultados obtidos com a aplicação superficial de calcário em áreas de culturas anuais cultivadas em sistema de plantio direto.

Um fato que pode aumentar o sucesso de calagens superficiais na correção das camadas inferiores dos solos cultivados sob sistema de plantio direto, por longos períodos, tem sido atribuído aos seus altos teores de matéria orgânica, que através da sua decomposição gera radicais orgânicos, capazes de se ligarem aos produtos da solubilização do calcário e os

movimentarem ao longo do perfil (DE OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES *et al.*, 2005; CALEGARI *et al.*, 2013; ZOCCA; PENN, 2017). Desta forma, nos solos estudados, pelo menos nos primeiros anos, não eram esperadas grandes movimentações de cátions no perfil, devido aos radicais orgânicos, pelo fato de ambos os solos apresentarem teores considerados médios de matéria orgânica (TABELA 1).

Da aplicação do calcário até as coletas das amostras de solo no ano de 2019 nas Fazendas Samambaia e Frade foram quantificadas as pluviosidades de 1437 e 1247 mm, respectivamente. Até as amostragens de solo no ano de 2020 houve um acumulado de precipitações de 2534,5 e 2538,5 mm para as Fazendas Samambaia e do Frade, respectivamente. Mesmo com boa quantidade de precipitações acumuladas entre a aplicação do calcário e as coletas de amostras de solo, não foram notados resultados capazes de comprovar a reação do corretivo aplicado.

Para que o calcário aplicado em superfície tenha efeito desejado na correção da acidez do solo e fornecimento de Ca e Mg na subsuperfície, é necessário maior tempo após a aplicação, e quanto maior a dose e o tempo após a aplicação, maior a profundidade alcançada (CAIRES *et al.*, 2015; RODRIGHERO *et al.*, 2015; TIRITAN *et al.*, 2016). Em função disso, já era esperado que o calcário aplicado em superfície nas Fazendas Samambaia e Frade há cerca de sete meses, não causaria efeito na modificação dos atributos químicos na subsuperfície destes solos, mesmo nas doses mais altas. No entanto, no presente estudo não foram observadas alterações nem na camada superficial, mesmo após aproximadamente 19 meses da aplicação.

Em muitos trabalhos realizados em diversos tipos de solos sob sistema de plantio direto têm-se encontrado efeitos pronunciados da calagem realizada em superfície na correção da acidez e nos teores de Ca e Mg nas camadas menos profundas dos solos poucos meses após sua aplicação (CAIRES *et al.*, 2006; ALLEONI *et al.*, 2010; CAIRES *et al.*, 2013; CALEGARI *et al.*, 2013; RODRIGHERO *et al.*, 2015 COSTA *et al.*, 2016; CRUSCIOL *et al.*, 2016). Após longos períodos, são encontrados também, efeitos do calcário aplicado em superfície nos teores de Ca e Mg e na acidez em maiores profundidades do solo (MARTINS *et al.*, 2014; PAULETTI *et al.*, 2014; RHEINHEIMER *et al.*, 2018; FONTOURA *et al.*, 2019). Como já mencionado, mesmo na superfície do solo (0,0 a 0,1 m) não foram notadas diferenças para pH, Ca e Mg nos experimentos no ano de 2019 e 2020 localizados nas Fazendas Samambaia e Frade. Exceto para os valores de pH na camada de 0,0 a 0,1 m no experimento da Fazenda Samambaia em 2020, mas, provavelmente, devido às calagens

realizadas anteriormente à instalação do experimento. Tal fato sugere que o calcário aplicado não tenha tido tempo para sua reação de solubilização.

Na literatura é descrito um tempo teórico da reação do calcário de três meses para áreas cultivadas convencionalmente, onde o calcário é incorporado ao solo (ALCARDE, 1992). No entanto, mesmo nestas condições de cultivo convencional, nem sempre a totalidade da reação é visualizada na prática, visto que existe uma série de fatores que podem afetar a velocidade de solubilização do corretivo, como suas características químicas e físicas, bem como a umidade do solo (ALCARDE, 1992; ZANCANARO, 1996). A superfície de contato entre as partículas do calcário e as partículas do solo, também possuem grande influência na velocidade de reação do corretivo (ALCARDE, 1992), e no caso desse experimento, como a aplicação foi realizada de forma superficial, a área de contato entre as partículas de calcário e solo é muito inferior em comparação ao corretivo incorporado ao solo, o que pode ter influenciado para que a solubilização do calcário não tenha ocorrido no período em que os experimentos foram avaliados. Souza e Lobato (2004) estimam que em sistemas de cultivo convencional apenas 50% do calcário aplicado reage já no primeiro ano, e nas áreas cultivadas sob sistema de plantio direto, em que o calcário é aplicado em superfície sem incorporação, apenas 20% do corretivo reage logo no primeiro ano.

Também as reações de solubilização do calcário são afetadas pelo pH na camada do solo em que este será aplicado, no caso deste experimento o pH na camada de 0,0 a 0,2 m eram de 5,9 e 6,0 nas Fazendas Samambaia e Frade, respectivamente. Quando o pH (H₂O) do solo está muito próximo ou acima de 6,0, a reação do calcário diminui drasticamente podendo até cessar, fazendo com que o corretivo se acumule na superfície do solo (ALLEN; HOSSNER, 1991; MILLER, 2015). Rheinheimer *et al.* (2018) afirmam que a aplicação de calcário em altas doses na superfície do solo faz com que esse se torne menos reativo em função do aumento do pH na camada superficial, e sugere que em alguns casos o parcelamento da calagem superficial ao longo de anos seja mais eficiente.

As pequenas diferenças encontradas nos valores de pH na camada superficial (0,0 a 0,1 m) na análise realizada em 2020 na Fazenda Samambaia (TABELA 5), onde a análise de regressão indica relação negativa entre as doses aplicadas e o pH do solo, não parece ter efeito único dos tratamentos. Além disso, antes da implantação dos experimentos em outubro de 2017, foram realizadas calagens superficiais nas Fazendas Samambaia e Frade, nas quantidades de 1,95 e 1,3 Mg.ha⁻¹, respectivamente. Quando se faz aplicação de corretivos de acidez na superfície, o que se observa é a elevação do pH desta camada (MOREIRA *et al.*, 2001; ERNANI *et al.*, 2004; CAIRES *et al.*, 2006; SCHONINGER *et al.*, 2010; CALEGARI

et al., 2013; BORTOLUZZI *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2014; PAULETTI *et al.*, 2014; RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015; CRUSCIOL *et al.*, 2016; JORIS *et al.*, 2016).

Os teores de alumínio em todas as camadas e nos dois anos analisados nas Fazendas Samambaia e Frade, já se encontravam próximos a $0,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, o que é considerado muito bom para a cultura, não sofrendo efeitos das doses de calcário aplicadas. Em solos cultivados com plantas anuais sob sistema de plantio direto com altos teores de alumínio, obtém-se resultados quanto a sua precipitação, tornando-o indisponível e evitando seus efeitos tóxicos às plantas. Nas áreas cultivadas sob sistema de plantio direto, com calagem superficial que proporciona correção do Al tóxico nas camadas superiores do solo já são observados aumentos de produtividade das plantas em curto prazo (MOREIRA *et al.*, 2001; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; SCHONINGER *et al.*, 2010; CAIRES, 2013; COSTA *et al.*, 2016; CRUSCIOL *et al.*, 2016; RHEINHEIMER *et al.*, 2018). Fontoura *et al.* (2019) trabalhando com calagem superficial em um latossolo vermelho sob sistema de plantio direto de longa duração encontraram efeitos sobre os teores de Al^{3+} já no primeiro ano de avaliações até a 0,6 m de profundidade.

A ausência de variação observada na acidez potencial, V% e CTC potencial na camada superficial (0,0 – 0,1 m) nos dois anos analisados na Fazenda Samambaia e no segundo ano de avaliação na Fazenda do Frade, são diferentes aos geralmente encontrados com a aplicação de calcário superficial em solos que são cultivados culturas anuais em sistema de semeadura direta. Nestas condições, em curto prazo já são notadas diferenças nesses atributos nas camadas superiores do solo (CAIRES *et al.*, 2000; CAIRES *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2014; JORIS *et al.*, 2016). No entanto, a ausência de variação nas camadas subsuperficiais (0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,4 m) nestas variáveis e nos dois anos de avaliação, corrobora com os obtidos por Caires *et al.* (2005), Brieds *et al.* (2012), Pauletti *et al.* (2014) e Rheinheimer *et al.* (2018) que encontraram diferenças para esses atributos nas camadas subsuperficiais do solo somente vários anos após a aplicação do calcário na superfície do solo. As diferenças encontradas nos valores de H+Al e V% na análise de solo realizada no ano de 2019 na Fazenda do Frade na camada 0,0 a 0,1 m (TABELA 3) podem ter sido devido à calagem realizada anteriormente à instalação do experimento, visto que é provável que o calcário aplicado de forma experimental não teria reagido até o momento da coleta do solo.

Diversos autores demonstraram relação entre os valores de H+Al e V% e o pH do solo (SILVA *et al.*, 2008), o que corrobora com a ausência de diferenças destes atributos nas camadas de solo avaliadas nos dois anos do estudo, onde também não foram notadas diferenças para os valores de pH. Fortalecendo a ideia de que os valores de H+Al e V% na

camada 0,0 a 0,1 m na Fazenda do Frade em 2019, não tenham sido influenciadas pelas doses de calcário, visto que o pH desta camada não foi influenciado pelos tratamentos.

A ausência de efeito da calagem nos teores de micronutrientes (TABELAS 2, 3, 4 e 5) era esperada, visto que não houve alterações no pH devido às aplicações das doses do corretivo. Quando a calagem ocasiona um aumento excessivo no pH do solo, deixando-o próximo a neutralidade, pode haver uma diminuição na disponibilidade da maioria dos micronutrientes, principalmente os catiônicos (CAIRES *et al.*; 2006; SOUSA *et al.*; 2007; GUPTA *et al.*, 2008; SORATTO; CRUSCIOL, 2008; RUTKOWSKA *et al.*, 2014; MOREIRA *et al.*, 2017; MOREIRA *et al.*, 2018). No caso do B, há relatos de que a aplicação de altas doses de calcário em solos com alto teor de alumínio trocável pode reduzir a sua disponibilidade no solo. Isso devido sua adsorção ao hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que é formado devido a precipitação do Al^{3+} após a reação do calcário (ROSOLEM; BISCARO, 2007). Para solos ácidos, o incremento na adsorção de B foi altamente correlacionado ao alumínio trocável, precipitado pela adição de CaCO_3 , com efeito mais marcante do $\text{Al}(\text{OH})_3$ recém-precipitado (SOUZA *et al.*, 1997; PRODROMU, 2004). Rosolem e Biscaro (2007) concluíram que a adsorção de boro pelo solo corrigido com calcário é muito alta no ano de maior reação do calcário no solo, geralmente o ano da realização da calagem, reduzindo-se com o tempo. Os solos do presente estudo apresentam teores de Al^{3+} próximo a zero, o que pode ter ajudado para que a disponibilidade do B não tenha sido afetada pela calagem.

Normalmente são esperadas reduções nos teores de Cu, com a elevação do pH do solo, que é refletido nos teores foliares dos vegetais, como foi demonstrado por Caires *et al.* (2006). No entanto, a redução não ocorre em todas as situações, como discutido por Pegoraro *et al.* (2006) e Moreira *et al.* (2017). Corroborando assim, com os resultados encontrados neste estudo, pois não foram notadas também diferenças para o pH nestes solos nos dois anos do estudo. Da mesma forma, são esperadas reduções dos teores de Fe^{2+} e aumento das formas oxidadas de ferro com o aumento do pH do solo, reduzindo assim, sua disponibilidade às plantas. Conforme não foram observadas mudanças significativas nos valores de pH nos dois locais estudados, não eram esperadas também, reduções nos teores do micronutriente (SHUMAN, 1986; RHOTON, 2000; CAIRES *et al.*, 2003).

O aumento do pH também proporciona redução dos teores de Mn^{2+} e Zn^{2+} e aumento das formas oxidadas destes nutrientes no solo (SANDERS, 1983; SANZONOWICZ, 1995; DAVIS-CARTER; SHUMAN, 1993; CAIRES; FONSECA, 2000; CAIRES *et al.*, 2003; CAIRES *et al.*, 2008), reduzindo sua disponibilidade às plantas (RHOTON, 2000). Corroborando com esses autores, não foram observadas reduções nos teores de nenhum destes

micronutrientes no presente estudo, devido a não ocorrência de mudanças significativas no pH com a aplicação das doses de calcário.

A ausência de resultados significativos para a grande maioria dos atributos químicos dos solos analisados fortalece a ideia de que as doses crescentes de calcário, aplicadas em 30/10/2018 e 31/10/2018 nas Fazendas do Frade e Samambaia, respectivamente, não reagiram, mesmo após mais de 17 meses. Também pode-se imaginar que os efeitos das doses tenham se restringido a uma pequena camada superficial (0,0 a 0,05 m) que não foi avaliada separadamente. Assim, os teores de Ca, Mg, Al, Cu, Fe, B, Mn e Zn e os valores de pH, H+Al, V% e T tenham sido diluídos na camada de 0,0 a 0,1 m, fazendo com que as diferenças não fossem detectadas. Vários autores trabalhando em solos com pH iniciais mais baixos em que o presente trabalho, identificaram resultados em camadas mais superficiais, como Schoninger *et al.* (2010), que trabalhando com calcário aplicado em superfície em sistema de plantio direto, encontraram efeito apenas na camada 0,0 a 0,025 m. Ou até mesmo na camada de 0,0 a 0,05 m como sugerem Miranda *et al.* (2005) e Rodrighero *et al.* (2015), em seus estudos com aplicação superficial de calcário em plantio direto.

4.2 Resultados da aplicação das doses de calcário nos teores foliares de nutrientes

4.2.1 Efeitos observados nas concentrações foliares de nutrientes no primeiro e segundo ano após a aplicação das doses de calcário

Na Tabela 6 são apresentadas as concentrações de nutrientes nas folhas de café, nos anos de 2019 e 2020, em função das doses crescentes de calcário aplicados na superfície do solo no experimento instalado na Fazenda Samambaia. Mesmo que na análise de solo do ano de 2019, em que os teores do nutriente se encontravam abaixo do nível crítico, conforme proposto por Alvarez e Ribeiro (1999), os teores foliares de Ca observados para a maioria dos tratamentos estavam em concentrações acima do limite considerado adequado (10,0 a 13,0 g.kg⁻¹), e para a dose 0 Mg.ha⁻¹ se encontra dentro dos limites considerados adequados por Guimarães *et al.* (1999), não sofrendo influências da aplicação de calcário. No ano de 2020, foi notado um ligeiro aumento nas concentrações absolutas deste nutriente em todos os tratamentos, no entanto, sem variação significativa, mantendo suas concentrações foliares acima do limite considerado adequado em todos os tratamentos naquele ano.

Tabela 6 - Influência das doses de calcário nos atributos químicos foliares 410 e 775 dias após a aplicação de calcário, na fazenda Samambaia.

Dose	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Mg.ha⁻¹	g.kg⁻¹			mg.kg⁻¹				
Análises foliares 2019								
0	11,7	3,9	24,4	49,6	28,1	89,5	72,6	14,5
3	13,5	4,1	24,7	52,4	31,3	130,8	75,7	18,3
6	13,2	4,2	25,7	51,0	30,1	87,9	81,4	16,7
12	13,4	4,2	25,1	51,5	29,3	81,5	77,3	16,6
24	13,8	4,2	24,6	54,0	31,7	96,0	78,5	15,8
R²	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	7,84	7,99	9,12	7,61	18,61	23,37	38,68	35,18
Análises foliares 2020								
0	14,7	4,9	30,3	57,0	24,4	135,7	82,1	17,6
3	14,9	5,0	33,8	60,4	26,5	160,4	84,7	20,0
6	13,9	4,5	29,0	67,3	25,6	146,0	95,3	14,5
12	13,4	4,8	32,1	57,4	27,4	129,6	82,5	16,1
24	13,4	4,9	32,8	59,6	29,1	173,2	90,1	18,2
R²	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	10,01	10,68	14,00	18,98	13,29	24,23	24,88	14,18

NS: não-significativo.

Fonte: Do autor (2021).

As concentrações de Mg encontradas nas folhas de todos os tratamentos em 2019, se encontravam dentro dos limites considerados adequados (3,1 a 4,5 g.kg⁻¹) (GUIMARÃES *et al.*, 1999), mesmo com os teores do nutriente no solo naquele ano sendo considerados baixos. Comparando-se os teores absolutos observados nas folhas, os valores saíram do limite adequado em 2019 para teores acima deste limite em 2020 em amostras de todos os tratamentos (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

No ano de 2019, as concentrações de K nas folhas se encontravam acima do limite considerado adequado (18,0 a 22,0 g.kg⁻¹) (GUIMARÃES *et al.*, 1999), em amostras de todos os tratamentos, não sendo influenciadas pela aplicação de calcário. Por sua vez, no ano de 2020, os teores de K aumentaram ligeiramente em valores absolutos em relação às amostras coletadas em 2019, e mantendo-se acima do limite considerado adequado (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

Todos os micronutrientes no solo da Fazenda Samambaia no ano de 2019 (TABELA 2) estavam com seus teores variando entre adequado e alto (ALVAREZ; RIBEIRO, 1999), e suas concentrações nas folhas confirmam a boa disponibilidade dos mesmos, pois os teores de B, Fe, Mn e Zn se encontram dentro dos limites considerados adequados, ou seja, 40 a 80, 70 a 180, 50 a 200 e 10 a 20 mg.kg⁻¹, respectivamente (GUIMARÃES *et al.*, 1999). Os nutrientes B, Fe, Mn e Zn, no ano de 2020, apresentaram ligeiros aumentos em suas concentrações foliares absolutas, comparadas aos de 2019, para todas as doses. Assim, as concentrações desses micronutrientes se mantiveram dentro limites considerados adequados para a cultura do cafeeiro (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

O Cu que no solo estava com teores considerados altos para todos os tratamentos e profundidades analisadas, no solo da Fazenda Samambaia, em 2019 (TABELA 2), manteve o mesmo padrão para os teores foliares (TABELA 6), que em todos os tratamentos apresentou teores muito acima dos considerados adequados (8 a 16 mg.kg⁻¹) para a cultura (GUIMARÃES *et al.*, 1999). Por outro lado, as concentrações de Cu nas folhas não foram modificadas pela aplicação das doses de calcário. Por sua vez, no ano de 2020, o Cu teve suas concentrações em termos absolutos diminuídas em todos os tratamentos, no entanto, com pequenas variações mantendo-se ainda assim, acima do nível considerado adequado em todos os tratamentos.

Os resultados das análises foliares no primeiro e segundo ano (2019 e 2020) do experimento instalado na Fazenda do Frade estão apresentados na Tabela 7. Os teores foliares de Ca nas amostras coletadas no ano de 2019 se encontravam acima do limite considerado adequado (10,0 a 13,0 mg.kg⁻¹) para todos os tratamentos, exceto para a dose 24 Mg.ha⁻¹, que teve o teor considerado adequado (GUIMARÃES *et al.*, 1999). Por sua vez, no ano de 2020, para todos os tratamentos avaliados, houve pequenos aumentos absolutos nas concentrações de Ca nas folhas, fazendo assim, com que os teores de Ca em todos os tratamentos se encontrassem acima do limite considerado adequado por Guimarães *et al.* (1999).

Os teores foliares de Mg, nas análises realizadas no ano de 2019 se encontraram dentro dos limites considerados adequados (3,1 a 4,5 mg.kg⁻¹) nas amostras de todos os

tratamentos (GUIMARÃES *et al.*, 1999), não sendo afetadas pela aplicação das doses de calcário. Nas análises foliares realizadas em 2020, todos os tratamentos apresentaram ligeiros aumentos absolutos nas concentrações de Mg, porém, esses aumentos fizeram com que a concentração do nutriente ficasse acima do considerado adequado apenas na dose 24 Mg.ha⁻¹, que excedeu em apenas 0,1 mg.kg⁻¹, as demais se mantiveram dentro dos limites (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

Tabela 7 - Influência das doses de calcário nos atributos químicos foliares 409 e 774 dias após a aplicação de calcário, na fazenda do Frade.

Dose	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Mg.ha ⁻¹	g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹				
Análises foliares 2019								
0	13,6	3,2	29,2	93,2	28,3	101,4	106,0	12,7
3	13,6	3,1	28,5	75,7	24,0	86,2	91,4	10,9
6	14,3	3,3	27,9	91,1	29,4	87,0	85,6	12,1
12	13,6	3,2	29,9	84,4	24,0	133,1	90,2	9,3
24	12,7	3,2	30,3	83,6	30,4	92,5	90,4	13,8
R ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	10,26	8,00	5,97	6,93	19,39	16,39	11,07	13,22
Análises foliares 2020								
0	19,4	4,3	22,1	112,6	25,1	154,2	129,5	9,6
3	19,7	4,2	21,1	101,8	26,9	156,9	124,6	8,6
6	18,9	4,5	20,5	112,4	29,6	168,7	122,2	10,0
12	17,4	3,9	21,8	106,0	27,6	181,4	119,1	8,9
24	19,2	4,6	21,1	112,3	27,6	172,0	123,9	8,6
R ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V	12,9	9,82	9,51	8,82	12,73	16,39	11,07	13,27

NS: não significativo.

Fonte: Do autor (2021).

As concentrações foliares de K em todos os tratamentos no ano de 2019, na Fazenda do Frade, estiveram acima do limite considerado adequado (18,0 a 22,0 mg.kg⁻¹) (GUIMARÃES *et al.*, 1999), não sendo influenciadas pela aplicação das doses de calcário. No ano de 2020, as concentrações sofreram ligeiras quedas em termos absolutos, fazendo com que todas saíssem de teores altos em 2019 para teores considerados adequados em 2020

(GUIMARÃES *et al.*, 1999). No entanto, esses decréscimos nos teores de potássio não foram significativos no teste F.

Os teores foliares de B, nas análises realizadas em 2019, estavam acima do limite considerado adequado ($80,0 \text{ mg.kg}^{-1}$), para todos os tratamentos, exceto para a dose 3 que, por causa de uma ligeira diferença, se encontrou dentro dos limites considerados adequados $40,0$ a $80,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ por Guimarães *et al.* (1999), mas não sofreram influências das doses de calcário. No ano de 2020, foram observados ligeiros aumentos nos teores absolutos do micronutriente para todos os tratamentos, fazendo assim, com que todos apresentassem teores foliares de B acima dos considerados adequados para a cultura (GUIMARÃES *et al.*, 1999). No entanto, esses acréscimos foram apenas numéricos, não apresentando diferenças significativas em função das doses de calcário.

Para o Cu, em 2019, as concentrações foliares em todos os tratamentos se encontravam acima do limite considerado adequado ($8,0$ a $16,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) por Guimarães *et al.* (1999), sem influências das doses de calcário. No ano de 2020, pequenas variações em termos absolutos foram observadas, mantendo para todos os tratamentos, concentrações foliares acima daquelas consideradas adequadas.

Para o Fe, nas análises realizadas em 2019, as concentrações do nutriente foram consideradas adequadas (70 a 180 mg.kg^{-1}) para a cultura, independentemente dos tratamentos (GUIMARÃES *et al.*, 1999), não sendo influenciadas pela aplicação das doses de Calcário. Por sua vez, no ano de 2020, para todas as doses de calcário foram observados aumentos absolutos nos teores foliares, ainda assim, as concentrações se encontraram dentro dos limites adequados, ou ligeiramente acima, como no caso da dose 12 Mg.ha^{-1} que ficou $1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ acima do considerado adequado. No entanto, não foram notadas diferenças significativas nos teores deste nutriente.

No caso do Mn, no ano de 2019, independentemente dos tratamentos, os teores observados se encontravam dentro de valores adequados (50 a 200 mg.kg^{-1}), sem influências das doses de calcário aplicadas. No ano de 2020, mesmo com ligeiros aumentos absolutos nos teores de Mn em amostras de todos os tratamentos, estes se mantiveram dentro dos limites adequados (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

As concentrações foliares de Zn, em 2019, se encontravam dentro dos limites adequados (10 a 20 mg.kg^{-1}), exceto para o tratamento que recebeu a dose de 12 Mg.ha^{-1} , em que o teor observado esteve abaixo do limite considerado adequado (GUIMARÃES *et al.*, 1999), não apresentando diferenças significativas para as doses de calcário. No ano de 2020, para todos os tratamentos houve ligeira queda nas concentrações absolutas deste

micronutriente, fazendo assim, que todas as amostras apresentassem concentrações abaixo do considerado adequado (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

Os teores de macro e micronutrientes nas folhas do cafeeiro não foram afetados pela aplicação das doses de calcário, tanto na Fazenda Samambaia, quanto na Fazenda do Frade, nos dois anos de avaliações do experimento, não sendo encontradas diferenças significativas nos atributos avaliados.

4.2.2 Discussão dos resultados observados nos teores foliares de nutrientes no primeiro e segundo ano após a aplicação das doses de corretivo

Como não foram encontradas diferenças significativas resultantes da aplicação das doses crescentes de calcário nos atributos dos solos, em nenhuma das áreas e anos do presente estudo, também não foram encontradas diferenças nas concentrações foliares de nutrientes do cafeeiro, nas amostragens realizadas na fase de chumbinho, após 410 e 775 dias da aplicação das doses de calcário na Fazenda Samambaia (TABELA 6) e Frade (TABELA 7).

Com a aplicação de calcário dolomítico, espera-se que os teores de Ca e Mg no solo aumentassem, refletindo assim, na absorção destes pelas plantas, que como consequência apresentariam diferenças em seus teores foliares. Caires *et al.* (2003) e Moreira *et al.* (2001), trabalhando com doses de calcário, observaram aumento das concentrações de Ca e Mg nas folhas de soja, o que já era esperado devido ao aumento dos teores desses nutrientes no solo. O mesmo não foi observado nesse estudo, visto que os teores do nutriente também não sofreram alterações no solo devido as diferentes doses de calcário.

A absorção de potássio pelas plantas sofre o efeito de inibição competitiva com os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , assim a absorção de K^+ pode ser prejudicada quando há excesso destes no solo (MALAVOLTA, 1997). O K poderia então, ter sua absorção diminuída se as concentrações de Ca e Mg no solo estivessem muito altas, o que não ocorreu, pois, provavelmente, não houve tempo para reação das doses de calcário aplicadas, como já discutido. E os teores foliares do nutriente permaneceram sempre dentro do limite adequado ou acima deste (GUIMARÃES *et al.*, 1999).

A aplicação superficial das doses de calcário não influenciou o pH dos solos das Fazendas Samambaia e Frade, em nenhum dos anos do estudo, nem os teores de micronutrientes nas camadas 0,0 a 0,1 e 0,1 a 0,2 m em nenhum dos solos no período estudado. Normalmente, quando se eleva o pH do solo, a maioria dos micronutrientes tem suas disponibilidades diminuídas (RHOTON, 2000; CAIRES *et al.*, 2003; CAIRES *et al.*,

2006; MOREIRA *et al.*, 2017), afetando assim, seus teores foliares. Sendo assim, não foram notadas diferenças significativas para os teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn, muito provavelmente por não ter havido mudanças no pH dos solos.

4.3 Resultados da aplicação das doses de calcário na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos

4.3.1 Efeitos das doses de calcário na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos

Devido à poda do tipo esqueletamento realizada nas lavouras nas Fazendas Samambaia e Frade, dois meses antes da implantação do experimento, houve colheita apenas no ano de 2020. Os dados de produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos produzidos na Fazenda Samambaia, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Efeitos das doses de calcário na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos produzidos no 2º ano após aplicação na Fazenda Samambaia.

Dose	Produtividade	Peneira ≥ 16	Análise sensorial
Mg.ha⁻¹	Sacas.ha⁻¹	%	Pontuação SCA
0	31,1	56,0	78,2
3	38,3	60,8	78,0
6	37,1	58,8	78,3
12	42,2	63,5	77,9
24	31,9	59,2	78,3
R²	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS
C.V	24,4	9,55	0,47

NS: não significativo.

Fonte: Do autor (2021).

Apesar das produtividades superiores em termos absolutos em todos os tratamentos onde foi aplicado calcário, em relação ao controle na Fazenda Samambaia, estas não foram significativas ao nível de 5% de probabilidade no teste F. O percentual de grãos peneira ≥16 no tratamento com aplicação da dose de 12 Mg.ha⁻¹ de calcário, também foi o maior em termos absolutos em relação aos demais, e, principalmente, ao controle, porém, essas

diferenças também não foram significativas. Na análise sensorial também não foram notadas diferenças na pontuação entre os grãos produzidos nos diferentes tratamentos.

A produtividade de grãos, a porcentagem de grãos retidos na peneira >16, bem como a análise sensorial dos grãos produzidos na Fazenda do Frade, em 2020, também não foram modificados pelas doses de calcário (TABELA 9). Em termos absolutos as produtividades de grãos observadas na Fazenda do Frade foram praticamente o dobro das observadas na Fazenda Samambaia, mas não foi realizada comparação estatística destes dados. O fato de a Fazenda do Frade ter sido mais produtiva pode ter sido devido ao manejo adotado na fazenda, como controle fitossanitário e desbrotas realizadas, que propiciou melhor brotação de ramos plagiotrópicos, no ano de 2019, e, conseqüentemente, maior produtividade no ano de 2020.

Tabela 9 - Efeitos das doses de calcário na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos produzidos no 2º ano após aplicação na Fazenda do Frade.

Dose	Produtividade	Peneira ≥ 16	Análise sensorial
Mg.ha⁻¹	Sacas.ha⁻¹	%	Pontuação SCA
0	63,8	66,9	78,6
3	60,9	70,5	77,9
6	68,9	70,8	77,8
12	58,0	63,4	78,8
24	66,9	71,4	77,8
R²	-	-	-
Efeito	NS	NS	NS
C.V	11,92	6,21	2,23

NS: não significativo.

Fonte: Do autor (2021).

4.2.2 Discussão dos resultados observados na Produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos

Para a primeira produção em lavouras de café após a realização de poda do tipo esqueletamento, normalmente se espera produtividades acima de 60 sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare, portanto, a produtividade em todos os tratamentos na Fazenda Samambaia, no ano de 2020, foi considerada baixa. Na Fazenda do Frade, as produtividades alcançadas em todos os tratamentos estão próximas às produtividades normalmente encontradas para a primeira produção de lavouras cafeeiras após a poda do tipo esqueletamento.

Normalmente, quando se realiza a calagem em doses adequadas em solos ácidos, e com baixos teores de cátions básicos, há aumento nos teores destes cátions, bem como correção da acidez do solo (MOREIRA *et al.*, 2001; CAIRES *et al.*, 2003; CAIRES *et al.*, 2006; PAULETTI *et al.*, 2014; FONTOURA *et al.*, 2019), com maior exploração radicular pelas plantas, e, conseqüentemente, melhor absorção dos nutrientes (MALAVOLTA *et al.*, 1997; GUIMARAES *et al.*, 1999; SOUSA *et al.*, 2007; MARSCHNER; RENGEL, 2012; MARTINS *et al.*, 2014; CRUSCIOL *et al.*, 2016; MOREIRA *et al.*, 2017; MOREIRA *et al.*, 2018). Conseqüentemente, plantas com nutrição adequada e equilibrada em nutrientes possuem grande capacidade para alcançarem maiores produtividades, com evidente melhoria na qualidade dos frutos produzidos (MALAVOLTA; NETTO, 1989; HAWKESFORD *et al.*, 2012; MATIELLO *et al.*, 2015; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Como as doses de calcário aplicadas não modificaram os atributos químicos dos solos dos dois locais (TABELAS 2, 3, 4 e 5), bem como os teores de nutrientes nas folhas (TABELAS 6 e 7), não foram encontradas diferenças significativas na produtividade, qualidade física e sensorial dos grãos produzidos nas parcelas experimentais no ano de 2020 (TABELAS 8 e 9).

5 CONCLUSÕES

As doses crescentes de calcário aplicadas em superfície de lavouras cafeeiras já implantadas, não modificaram os atributos químicos dos solos após 18 meses de sua aplicação.

Os teores foliares de nutrientes não foram influenciados pelas doses de calcário aplicadas superficialmente em lavouras de café já implantadas.

A produtividade, tamanho e qualidade sensorial dos grãos não foram influenciadas pelas doses crescentes de calcário aplicadas em superfície.

REFERÊNCIAS

- ABREU, JR, C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Sci. Agric.** Piracicaba, Braz, v. 58, p. 813-824, 2001.
- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992.
- ALLEN, E. R.; HOSSNER, L. R. Factors affecting the accumulation of surface applied agricultural limestone in permanent pastures. **Soil Science**, Madson, WI, v. 151, n. 3, p. 240–248, 1991.
- ALLEONI, L. R. F. *et al.* Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, WI, v. 74, n. 3, p. 1010-1017, 2010.
- 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: CFSEMG, 1999. p. 359.
- BARDGETT, R. **The biology of soil**: a community and ecosystem approach. Oxford: University Press, 2005.
- BORTOLINI, D. *et al.* Surface applied lime dynamics and base saturation index in a consolidated no-tillage area. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, 7, n. 4, p. 473–485, 2016.
- BORTOLUZZI E. C.; PARIZE G. L.; KORCHAGIN J.; SILVA V. R.; RHEINHEIMER D.; D.; KAMINSKI J. Crescimento da raiz da soja e produtividade da cultura em resposta à calagem no início do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p.262-271, 2014.
- BRIEDIS, C. *et al.* Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 1007-1014, 2012.
- BRILHANTE, S. A.; SANTOS, J. C. B.; SANTOS JÚNIOR, V. S.; ARAÚJO, J. K. S.; FILHO, M. R. R.; CORRÊA, M. M. Weathering of rhyolites and soil formation in an atlantic forest frangment in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 47, p. 1-18, 2017.
- BROETTO, F.; GOMES, E. R.; JOCA, T. A. C. **Estresse Das Plantas**: Teoria and Pratica. São Paulo: Cultura Acadêmica Editora Unesp, 2017.
- BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Funções do Cálcio e Magnésio em Plantas. *In*: VALE, D. W.; SOUSA, J. I.; PRADO, R. M. **Manejo de Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas**. Jaboticabal: FCAV, 2010. p. 425.

CAI, Z. *et al.* Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. **Journal of Soils and Sediments**, Switzerland, v. 15, p. 260–270, 2015.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 141, n. 1, p. 1-13, 2013.

CAIRES, E. F. *et al.* Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, Conthey, v. 66, p. 41-53, 2015.

CAIRES, E. F.; BANZATTO D. A.; FONSECA, A. F. da. "Calagem na superfície em sistema plantio direto." **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p.161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Aplicação superficial de cal para produção de grãos de culturas em sistema de plantio direto. **Revista de Agronomia**, Madison, WI, v. 97, n. 3, p.791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Aplicação de cal no estabelecimento de um sistema de plantio direto para produção de grãos no sul do Brasil. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, v. 89, n. 1, p.3-12, 2006.

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

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

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

CALEGARI A.; TIECHER T.; HARGROVE W. L.; RALISCH R., TESSIER D.; de TOURDONNET S. de F.; GUIMARÃES, M.; DOS SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, n. p. 32-9, 2013.

CECAFÉ. Conselho dos exportadores de café do Brasil. **Relatório mensal**. Dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes>. Acesso em: 02 fev. 2021.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 5, p. 573-582, 1984.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Boletim da safra de café**. Quarto levantamento, dezembro de 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 09 fev. 2021.

COSTA, C. H. M. da *et al.* Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.

CRUSCIOL C. A.; ARTIGIANI A. C.; A. R. F. O.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, v. 137 p.87-99, 2016.

CUNHA, J. P. B. *et al.* Economic viability for different coffee harvest systems. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 417-426, 2016.

DA SILVA CARNEIRO, J. S. *et al.* Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2018.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.

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

DE OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Controle da acidez do solo em sistema plantio direto para produção de soja. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, v. 38, v. 1-2, p. 47-57, 1996.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. *In*: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 3. p. 91-133.

DOI, A. *et al.* Specificity and affinity of multivalent ions adsorption to kaolinite surface. **Applied Clay Science**, v. 190, p. 105557, 2020.

DONAGEMMA, G. K. *et al.* Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F.; BAYER, C. Modificações químicas causadas pela calagem abaixo da camada calada em um solo ácido de carga predominantemente variável. **Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas**, v. 35, p. 5-6, p. 889-901, 2004.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v. 128, p. 221-275, 2014.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Ufla/Faepe, 2005. p.186.

FERNANDES, A. L. T. *et al.* Technical and economic viability of drip irrigation of coffee in Araxá, MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 346-357, 2016. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1090>. Acesso em: 20 may. 2021.

- FERNANDES, S. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; PINTO, N. A. V. D.; NERY, M. C.; PÁDUA, F. R. M. D. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de cafés arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, 2003.
- FERRAZ, G. A. E. S. *et al.* Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 5, p. 906-915, 2011.
- FONTOURA, S. M. V. *et al.* Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 193, p. 27-41, 2019.
- FRANCHINI, J. C. *et al.* Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 357–360, 2001.
- FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. *In:* KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.
- FURTINI NETO, A. E. *et al.* **Fertilidade do solo**. Lavras: Ufla/Faepe, 2001. p. 252.
- GUIMARÃES, P. T. G. Cafeeiro. *In:* RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- GUO, W. *et al.* Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. **The Crop Journal**, v. 4, n. 2, p. 83-91, 2016.
- GUPTA, U. C.; KENING, W.; SIYUAN, L. Micronutrients in soil, crops, and livestock. **Earth Science Frontiers**, v. 15, n. 5, p. 110-125, 2008.
- HAO, T. *et al.* Quantification of the contribution of nitrogen fertilization and crop harvesting to soil acidification in a wheat-maize double cropping system. **Plant and Soil**, v. 434, n. 1, p. 167-184, 2018.
- HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J. MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. *In:* **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. Academic Press. p. 135-189. 2012.
- HOLLAND J. E.; BENNETT A. E.; NEWTON A. C.; WHITE P. J.; MCKENZIE B. M.; GEORGE T. S.; PAKEMAN R. J.; BAILEY J. S.; FORNARA D. A.; HAYES R. C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. **Science of the Total Environment**, v. 610, p. 316-32, 2018.
- ICO. International Coffee Organization. **Estatísticas do comércio: produção: total production by all exporting countries**. London: ICO, 2019. 1 p.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: The chemistry of quality**. Academic Press, 1995.

JORIS H. A., CAIRES E. F., SCHARR D. A., BINI Â. R., HALISKI A. Calagem na conversão de pastagem degradada para sistema de plantio direto no Sul do Brasil. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, v. 162, p. 68-77, 2016.

KAMRAN, M. A. *et al.* Amelioration of soil acidity, Olsen-P, and phosphatase activity by manure-and peat-derived biochars in different acidic soils. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 11, p. 1-15, 2018.

KOBAYASHI, N. I. *et al.* Application of 28 Mg for characterization of Mg uptake in rice seedling under different pH conditions. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 296, n. 1, p. 531-534, 2013.

KOPITTKE, P. M. *et al.* Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots. **Plant Physiology**, v. 167, n. 4, p. 1402-1411, 2015.

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

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

LI, G. *et al.* Addressing subsoil acidity in the field with deep liming and organic amendments: Research update for a long-term experiment. *In: Proceedings of the 2019 agronomy Australia conference*, 2019. p. 25-29.

LINGLE, T. R. The Cuppers Handbook. **Systematic Guide to the Sensory Evaluation of Coffees Flavor**. Long Beach: Specialty Coffee, 2001. p.71.

LOPES, A. S.; ABREU, C. A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 265-298, 2000.

MALAVOLTA, E. **Potássio, Mg e S nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1979. (Boletim Técnico n. 04).

MALAVOLTA, E.; NETTO, A. V. **Nutrição Mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 153 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil**. 30 de janeiro de 2017. Disponível em: <http://www.Agricultura.Gov.Br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 09 fev. 2021.

MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. Nutrient availability in soils. *In: Marschner: mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 2012. p. 315-330.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302, 1999.

MARTINS A. P. *et al.* Melhoria da acidez do solo e da produtividade da soja após a reaplicação do calcário superficial em um sistema de plantio direto integrado lavoura-pecuária de longo prazo sob intensidades variadas de pastejo. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, v. 144, p.141-149, 2014.

MATIELLO, J. *et al.* **Cultura de café no Brasil: Manual de Recomendações**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento, Brasília, DF, 2015.

MATÚŠ, P. J. J. O. I. B. Evaluation of separation and determination of phytoavailable and phytotoxic aluminium species fractions in soil, sediment and water samples by five different methods. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 101, n. 9. p. 1214-1223, 2007.

MIJANGOS, I.; ALBIZU, I.; EPELDE, L.; AMEZAGA, I.; MENDARTE, S.; GARBISU C. Effects of liming on soil properties and plant performance of temperate mountainous grasslands. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2066-2074, 2010.

MILLER, L. How fast is lime moving and is it treating acidity at depth? **Southern Farming Systems**, p. 133–135, 2015.

MIRANDA, L. N. de et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 563–572, 2005.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 71-81, 2001.

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

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

MOREIRA, S. G. *et al.* Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 89-97, 2017.

NEPAR. Núcleo Estadual do Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

OBURA, P. A. **Effects of soil properties on bioavailability of aluminium and phosphorus in selected Kenyan and Brazilian soils**. Unpublished dissertation in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy. USA: Purdue University, 2008.

PAULETTI, V. *et al.* Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.

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

PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. **Agriculture**, v. 9, n. 6, p. 120, 2019.

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

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Determinação do pH em cloreto de cálcio e de acidez total. *In*: RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. Cap. 10, p. 18–188.

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

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018.

RHEINHEIMER, D. S dos; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, D. L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 797-805, 2000.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, WI, 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**, Viçosa, v. 39, p. 1723–1736, 2015.

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

RUTKOWSKA, B. *et al.* Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. **Plant, Soil and Environment**, v. 60, n. 5, p. 198-203, 2014.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SAMBORSKA, I. A. *et al.* Structural and functional disorder in the photosynthetic apparatus of radish plants under magnesium deficiency. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 6, p. 668-679, 2018.

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

SANZONOWICZ, C. Deficiência de manganês em solos do cerrado. *In*: Yamada, T. (Ed.). **Informações Agronômicas**, Potafos, 1995. p. 7.

SCHONINGER, E. L. *et al.* Atributos químicos do solo e produtividade da cultura de soja em Soil chemical attributes and soybean yield in no-tillage system after surface liming. **Repositorio. Unesp. Br.**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1253–1262, 2010.

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

SIECINSKA, J.; WIACEK, D.; NOSALEWICZ, A. The influence of soil acidity on aluminium and mineral nutrients concentrations in soil solution at different soil water potentials. **Acta Agrophysica**, v. 23, n. 1, 2016.

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

SILVA, V. da *et al.* Variáveis de acidez em função da mineralogia do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 551–559, 2008.

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

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

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

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. São Paulo: Artmed, 2017.

TANG, C.; RENGEL, Z.; DIATLOFF, E.; GAZEY, C. Respostas do trigo e da cevada à

calagem em solo arenoso com acidez do subsolo. **Field Crops Research**, v. 80, n. 3, p. 235-244, 2003.

TANG, C. et al. Biological amelioration of subsoil acidity through managing nitrate uptake by wheat crops. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1, p. 383-397, 2011.

TANOI, K; KOBAYASHI, N. I. Leaf senescence by magnesium deficiency. **Plants**, v. 4, n. 4, p. 756-772, 2015.

TIRITAN C. S.; BÜLL L. T.; CRUSCIOL C. A.; CARMEIS FILHO, A. C.; FERNANDES, D. M.; NASCENTE, A. S. Sistema de cultivo e aplicação de calcário em região tropical: Fertilidade química do solo e produtividade do milho em sucessão a pastagens degradadas. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, p. 437-447, 2016.

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. do. Eficiência nutricional em plantas. **Estudos Avançados em Produção Vegetal**. Alegre: Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. V. 1, p. 23-41.

TRUOG, E. Acidic soils. **Soils in our environment**. Upper Saddle River (NJ): Pearson Prentice Hall, 2004. p. 239-277.

VIEIRA, R. C. B. *et al.* Sampling layer for soil fertility evaluation in long-term no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1–11, 2016.

VITTI, C. G.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. *In*: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. 22 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006. p. 432.

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.

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

ZOCA, S. M.; PENN, C. An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 144, p. 1-44, 2017.