

JAQUELINE APARECIDA MARCON

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR
DO CAFEEIRO ARÁBICA SOB CALAGEM E GESSAGEM**

Botucatu

2022

JAQUELINE APARECIDA MARCON

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR
DO CAFEIRO ARÁBICA SOB CALAGEM E GESSAGEM**

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agrônômicas da Unesp,
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestra em Agronomia
(Agricultura).**

**Orientador: Rogério Peres Soratto
Coorientador: Renan José Parecido**

Botucatu

2022

M321a	Marcon, Jaqueline Aparecida Atributos químicos do solo e distribuição do sistema radicular do cafeeiro arábica sob calagem e gessagem / Jaqueline Aparecida Marcon. -- Botucatu, 2022 90 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Rogério Peres Soratto Coorientador: Renan José Parecido 1. Cafeeiro. 2. Acidez do solo. 3. Calagem. 4. Gessagem. 5. Raízes. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DO CAFEIEIRO ARÁBICA SOB CALAGEM E GESSAGEM

AUTORA: JAQUELINE APARECIDA MARCON

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

COORDENADOR: RENAN JOSÉ PARECIDO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / FCAUnesp Botucatu

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. MARCOS JOSÉ PERDONA (Participação Virtual)
. / APTA - Pólo Regional Centro Oeste

Botucatu, 04 de março de 2022

*Aos meus amados pais Oneida Oliveira Marcon e Laerte Roque Marcon,
a meu querido irmão Mateus de Oliveira Marcon e
minha cunhada Edna Pereira Marcon,
por sempre me apoiarem nessa jornada,*

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida, por me concederem a benção da vida e toda a proteção, iluminando os meus passos e sempre me amparando nas dificuldades encontradas até aqui.

Aos meus pais, Laerte e Oneida, por todo apoio, cuidado e companheirismo para que essa fase fosse concluída. Sou grata por terem me ensinado que a humildade, educação e amor por aquilo que fazemos, nos levam longe. Todos os valores passados me fizeram ser quem sou. Meu amor é incondicional.

Aos meus irmãos, Mateus e Cleber, as minhas cunhadas, “Ednas”, aos meus sobrinhos, Nicolas, Jonathan e João, por me proporcionarem um lar cheio de amor e carinho! Vocês são meu porto seguro!

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, por compartilhar seus conhecimentos, ensinamentos e paciência, e colaborar fielmente na execução desse trabalho. E ao meu coorientador Renan José Parecido, pelo apoio na execução desse projeto.

Aos meus fiéis e queridos amigos de pós-graduação e de vida, Bárbara Silva, Westefann dos Santos, Júlio César, Amanda Gilabel, Anderson Romão, Gyslane Garreto, Tassiane Sanchez, Marcela Pacola, Laura Ribera e Matheus Milanesi, a vocês faltam palavras para expressar o quão importante vocês são para mim, sou muito grata por ter pessoas tão especiais em minha vida. Agradeço a todos por estarem comigo nos bons e maus momentos dessa etapa, vocês possuem o dom de me fazer bem! Obrigada por toda ajuda para que esse dia chegasse, sem vocês a caminhada seria bem mais difícil.

Aos estagiários, Ana Júlia, Gleison, João, Raul, Gabriela e Daniel, pelo auxílio nas avaliações, dedicação e amizade.

Ao cafeicultor Celso Sidney Parecido, por ter cedido a área para condução do experimento.

Ao pessoal do laboratório Relações Solo-Planta, Yara, Júlia e Vinicius, por todo o ensinamento e colaboração, nas análises realizadas, e pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Eliane Gonçalves, Valéria Giandoni, Adelina, Talita, Ciro e Márcio que sempre auxiliaram, de uma forma ou de outra, para que o projeto pudesse ser desenvolvido.

Ao Renan José Parecido e seus pais, Sidney e Vanda, por cederem a área para realização desse projeto e auxiliar nos tratos culturais.

À minha antiga orientadora da graduação, hoje amiga, Roseli Goulart, e aos meus amigos feitos durante o curso de Engenharia Agrônômica que sempre me acompanharam, Hellen, Luis Rodolfo, Janaina, Eduarda, Rodrigo, por me presentear com sua amizade e companheirismo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/FCA, por proporcionar a realização do meu mestrado. E a todo seu corpo docente por contribuírem em minha formação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso.”

RUSKI, J. The seven lamps of Architecture. 1. ed. New York: Longmans, 1849.

RESUMO

O desempenho da cultura está diretamente relacionado com seu sistema radicular, pois é através dele que a planta absorve água e nutrientes, essenciais ao seu desenvolvimento. A maior parte da cafeicultura brasileira está instalada em solos ácidos, com altos teores de Al^{3+} e deficientes em Ca^{2+} , fatores que restringem o crescimento radicular das plantas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular do cafeeiro arábica sob aplicação de calcário e gesso, bem como relacioná-la a características químicas do solo e com a produtividade da cultura. O experimento foi instalado em lavoura café (Catuaí Amarelo - IAC 74), no município de Manduri-SP, em delineamento experimental em blocos casualizados, com oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de doses de calcário, associado ou não ao gesso, aplicados em faixa sob a projeção da copa ou em área total, sendo: T1 - sem aplicação; T2 - dose recomendada de calcário, aplicada em faixa; T3 - dobro da dose de calcário, aplicada em faixa; T4 - dose recomendada de gesso, aplicada em faixa; T5 - dose recomendada de calcário + gesso, aplicados em faixa; T6 - dobro da dose de calcário + gesso, aplicados em faixa; T7 - dobro da dose de calcário, aplicados em área total; T8 - dobro da dose de calcário + gesso, aplicados em área total. Foram avaliadas as características químicas do solo, a distribuição do sistema radicular das plantas, a resistência mecânica do solo à penetração, os teores de nutrientes nas folhas, a altura e índice de área foliar das plantas e produtividade de grãos. A calagem em faixa promoveu maior redução da acidez e elevação os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo da projeção da copa e também melhor distribuição do sistema radicular do cafeeiro. Por outro lado, a calagem em área total proporcionou melhorias mais significativas nos atributos químicos na entrelinha, principalmente nas camadas mais superficiais do solo. A aplicação do dobro da dose de calcário associado ou não ao gesso e aplicado em faixa, promoveu maior correção da acidez do solo e incremento de Ca^{2+} na projeção da copa das plantas, proporcionando maiores valores de comprimento, área superficial e matéria seca de raízes do cafeeiro, com melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; calcário; gesso; cafeicultura; solos ácidos.

ABSTRACT

The crop performance is directly related to its root system, because it is through it that the plant uptakes water and nutrients, essential for its development. Most of the Brazilian coffee plantations is cultivated in acidic soils, with high levels of Al^{3+} and deficient in Ca^{2+} , factors that restrict the root growth of plants. The objective of the present work was to evaluate the distribution of the root system of Arabica coffee under limestone and phosphogypsum application, as well as to relate it to soil chemical attributes and crop yield. The experiment was carried out in a coffee plantation (Catuaí Amarelo - IAC 74), in the municipality of Manduri-SP, in a randomized block design, with eight treatments and three replications. The treatments consisted of the application of limestone rates, associated or not with phosphogypsum, applied as a surface band under the canopy projection of the plants or uniformly broadcast-applied all over the area, being: T1 - without application; T2 - recommended limestone rate band applied; T3 - double the limestone rate band applied; T4 - recommended phosphogypsum rate band applied; T5 - recommended limestone rate + phosphogypsum band applied; T6 - double the the limestone rate + phosphogypsum broadcast applied; T7 - double the the limestone rate broadcast applied; T8 - double the the limestone rate + phosphogypsum broadcast applied. Soil chemical attributes, plant root system distribution, soil mechanical resistance to penetration, leaf nutrient concentration, plant height, leaf area index, and grain yield were evaluated. Broadcast-applied limestone promoted a greater reduction in acidity and an increase in Ca^{2+} and Mg^{2+} levels in the soil profile of the canopy projection and also better distribution of the coffee root system. On the other hand, limestone uniformly broadcast-applied all over the area provided more significant improvements in the chemical attributes between the rows, mainly in the more superficial layers of the soil. The application of twice the amount of limestone, associated or not with phosphogypsum and band-applied under canopy projection, promoted a greater amelioration of soil acidity and an increase of Ca^{2+} under the projection of the canopy of the plants, providing greater values of length, surface area, and dry matter of roots of the coffee plant, with better distribution of the root system in the soil profile.

Keywords: *Coffea arabica*; limestone; phosphogypsum; coffee growing; acid soils.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema representativo da aplicação em faixa e área total no cafeeiro ..	36
Figura 2 - pH(CaCl ₂) e H+Al, na projeção da copa e entrelinha da cultura do café, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	45
Figura 3 - Al ³⁺ e saturação por alumínio (m%), na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	48
Figura 4 - S-SO ₄ ⁻² , P e K ⁺ , na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	50
Figura 5 - Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e V, na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	53
Figura 6 - Distribuição espacial do comprimento das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	60
Figura 7 - Distribuição espacial do diâmetro médio das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	63
Figura 8 - Distribuição espacial da área superficial das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	66
Figura 9 - Distribuição espacial da matéria seca das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura média e precipitação mensais, da instalação do experimento (fevereiro de 2015) até julho de 2021. Manduri-SP	34
Tabela 2 - Características granulométricas do solo da área de instalação do experimento. Manduri-SP	34
Tabela 3 - Características químicas do solo da área, na projeção da copa das plantas de café, antes do início do experimento (outubro de 2014) e antes da reaplicação dos corretivos (outubro de 2020), nos tratamentos controle, dose recomendada de calcário na faixa (CR-F) e dose recomendada de gesso na faixa (G-F). Manduri-SP	35
Tabela 4 - Porosidade total (Pt), microporosidade (micro), macroporosidade (macro), e densidade do solo (Ds), antes da aplicação dos tratamentos. Manduri-SP	36
Tabela 5 - Descrição dos tratamentos constituídos da aplicação de calcário e gesso	38
Tabela 6 - Probabilidade de F para os resultados de pH, H+Al, Al ³⁺ e m% no solo, nas profundidades de 0,00-0,10 a 0,60-0,80 m, sob a projeção da copa e na entrelinha da cultura do café, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso.....	45
Tabela 7 - Probabilidade de F para os resultados de S-SO ₄ ²⁻ , P, K ⁺ , Ca ²⁺ e Mg ²⁺ no solo, nas profundidades de 0,00-0,10 a 0,60-0,80 m, sob a projeção da copa e na entrelinha da cultura do café, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	49
Tabela 8 - Probabilidade de F para os resultados de resistência do solo a penetração, na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80 m, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso.....	54
Tabela 9 - Resistência do solo a penetração, na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80 m, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso.	55
Tabela 10 - Probabilidade de F para os resultados de comprimento radicular, diâmetro médio, área superficial e matéria seca de raiz em amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,00-0,10 a 0,60-	

08 m, e o total em profundidade em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	57
Tabela 11 - Comprimento radicular (cm dm^{-3}) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	59
Tabela 12 - Diâmetro médio radicular (mm) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	62
Tabela 13 - Área superficial ($\text{cm}^2 \text{ dm}^{-3}$) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso.....	65
Tabela 14 - Matéria seca de raiz (mg dm^{-3}) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	67
Tabela 15 - Coeficientes de correlação de Pearson para comprimento de raiz (C), diâmetro médio (DM), área superficial (AS) e matéria seca (MS) com os teores de Ca^{2+} no perfil do solo, em projeção da copa e entrelinha, representados pelas distâncias de 0,50 e 1,50 m, respectivamente.....	70
Tabela 16 - Coeficientes de correlação de Pearson para comprimento de raiz (C), diâmetro médio (DM), área superficial (AS) e matéria seca (MS), com projeção da copa e entrelinha, representados pelas distâncias de 0,50 e 1,50 m respectivamente, com o teores de Al^{3+} no perfil do solo nas mesmas distâncias	71
Tabela 17 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na folha diagnose do café arábica, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	73
Tabela 18 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe, B) na folha diagnose do café arábica, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	74
Tabela 19 - Altura e índice de área foliar (IAF) das plantas em que foram avaliadas o sistema radicular, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	75

Tabela 20 - Produtividade de grãos beneficiados do café arábica, no ano de 2020 (antes da reaplicação dos tratamentos) e 2021 (após reaplicação), em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso	76
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1	A cultura do café e o sistema radicular do cafeeiro.....	25
2.2	Acidez do solo e calagem no cafeeiro.....	27
2.3	A prática da gessagem no cafeeiro.....	29
2.4	Associação da calagem e gessagem no cafeeiro.....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1	Localização, caracterização da área e tratamentos.....	33
3.2	Cultivar utilizada.....	38
3.3	Condução dos experimentos.....	39
3.4	Variáveis analisadas.....	40
3.4.1	<i>Características químicas do solo.....</i>	<i>40</i>
3.4.2	<i>Resistência do solo a penetração (RP).....</i>	<i>41</i>
3.4.3	<i>Distribuição do sistema radicular do cafeeiro.....</i>	<i>41</i>
3.4.4	<i>Teores de nutrientes nas folhas.....</i>	<i>42</i>
3.4.5	<i>Altura de plantas e índice de área foliar (IAF).....</i>	<i>42</i>
3.4.6	<i>Produtividade de grãos.....</i>	<i>43</i>
3.5	Análise estatística.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Características químicas do solo.....	44
4.2	Resistência do solo a penetração (RP).....	54
4.3	Distribuição do sistema radicular do cafeeiro.....	56
4.4	Teores de nutrientes nas folhas.....	72
4.5	Altura de plantas e Índice de Área foliar (IAF).....	74
4.6	Produtividade de grãos.....	75
5	CONCLUSÕES.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das *commodities* de maior relevância no cenário mundial (ICO, 2021), sendo o Brasil o maior produtor do grão (FAOSTAT, 2021). A produção nacional do país é de cerca de 47,7 milhões de sacas, produzidos em 2,2 milhões de hectares, sendo 66% da produção da espécie café arábica (*Coffea arabica* L.) (CONAB, 2021). No entanto, a cafeicultura brasileira ainda enfrenta grandes desafios relacionados a fatores como o dinamismo de mercado, condições adversas do clima, e limitações ligadas aos solos, onde grande parte da cafeicultura se encontra em solos ácidos, de baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e altos teores de Al trocável (Al^{3+}) (CORRÊA et al., 2007; EFFGEN et al., 2008; MARTINS et al., 2009). O crescimento do sistema radicular é afetado pela toxidez do Al^{3+} e pelos baixos teores de Ca^{2+} nas camadas mais profundas do solo, ficando limitado às camadas superficiais, afetando a absorção de água e nutrientes (BORTOLUZZI et al., 2014).

O desenvolvimento e produtividade das plantas estão diretamente relacionados com a interação entre as características químicas do solo e o sistema radicular (CARDUCCI et al., 2014), assim, é fundamental conhecer o sistema radicular da planta estudada para a realização do correto manejo da lavoura. Com isso, é possível obter-se maior eficiência nas práticas como adubações, aplicação de pesticidas de solo, determinação de densidade de plantio, uso de irrigação e culturas intercalares (ROGERS; BENFEY, 2015).

Para a neutralização do Al^{3+} e fornecimento de Ca^{2+} é usualmente efetuada a prática da calagem, que ainda pode aumentar a CTC do solo, potencializa os efeitos da adubação por meio da elevação do pH e acelerar a decomposição da matéria orgânica através do aumento da atividade microbiana do solo, liberando nutrientes para a solução do solo (OLEGO et al., 2016). No entanto, a ação do calcário fica mais restrita às camadas superficiais do solo, em razão da sua baixa solubilidade (GONÇALVES et al., 2011), limitando o aprofundamento do sistema radicular do cafeeiro, o tornando sensível a veranicos e alterações expressivas de pH, configurando um risco à produção (SILVA et al., 2004).

O uso do gesso agrícola se torna uma prática complementar por também diminuir os teores de Al^{3+} tóxico e fornecer Ca e S (MOREIRA et al., 2001). Sua aplicação ainda melhora as condições do solo em profundidade por conseguir arrastar

o Ca e outros cátions para o subsolo por meio da formação de par iônico com o íon sulfato (RAMOS et al., 2013), melhorando o ambiente de crescimento do sistema radicular, consequentemente a absorção de água e nutrientes, refletindo na tolerância à veranicos e produtividade das plantas.

Nesse contexto a correção do solo é uma prática que traz inúmeros benefícios resultando em maior produtividade da cultura, no entanto as doses a serem utilizadas devem ser recomendadas de maneira criteriosa pois a falta e/ou o excesso podem alterar a dinâmica adequada dos nutrientes, acarretando quedas indesejáveis na produção (GUARÇONI, 2017). Atualmente, as principais recomendações para o cultivo do cafeeiro arábica são baseadas na elevação da saturação por bases a um determinado valor (RAIJ et al., 1997; GUIMARÃES et al., 1999). A aplicação em lavoura já instalada é realizada em cobertura sob a superfície do terreno, em faixa na projeção da copa das plantas ou em área total, de acordo com o espaçamento da lavoura. Por exempli, Guimarães et al. (1999) calculam a quantidade de calcário (QC) em função da superfície de aplicação (área total ou faixa), da profundidade de incorporação ($\cong 7$ cm) e do PRNT do calcário, ocasionando redução da dose inicialmente calculada por hectare.

São relativamente bem conhecidos os efeitos da calagem e gessagem na nutrição e produtividade do café arábica; contudo, pouco se sabe sobre a distribuição do sistema radicular da cultura em função de doses e métodos de aplicação desses produtos. Além da variação entre as recomendações nos boletins existentes, trazerem questionamentos sobre a eficiência das doses recomendadas em função da localidade da aplicação.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a distribuição do sistema radicular do cafeeiro em função de diferentes doses e formas de aplicação de calcário, em combinação ou não com o gesso, bem como relacioná-la a características químicas do solo e com a nutrição e a produtividade da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do café e o sistema radicular do cafeeiro

O cafeeiro pertence à família botânica *Rubiaceae*, gênero *Coffea*, no qual se tem descritas em torno de 103 espécies, sendo o café arábica (*Coffea arabica* L.) e o café conillon (*C. canephora* Pierre) explorados comercialmente no Brasil (OLIVEIRA; OLIVEIRA; MOURA, 2012). O cafeeiro arábica é responsável por cerca de 60% da produção mundial do grão, a bebida é apreciada por apresentar características como baixo teor de cafeína nos grãos, aroma marcante e doçura acentuada, sendo cultivada em regiões de elevadas altitudes (BRAINER, 2018).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e, devido a esta expressividade, no período de expansão da cultura no país, até a década de 90, a economia brasileira girou em torno da atividade cafeeira (VOLSI et al., 2019). O país apresenta um parque cafeeiro correspondente a 2,2 milhões de hectares. Contudo, nos últimos anos, a área plantada tem sido reduzida, o que tem sido compensado pelo aumento de produtividade das lavouras, decorrente ao uso de novas tecnologias aplicadas na sua cadeia produtiva (CAFÉ, 2021).

O solo é um dos fatores mais importantes para a produção de café, devendo oferecer condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura (MESQUITA et al., 2016). Seu cultivo pode ser realizado com sucesso em diversos tipos de solos, contando que haja adequada correção da acidez e equilibrada disponibilidade de nutrientes (AGUIAR et al., 2014), fornecendo condições ideais ao desenvolvimento do sistema radicular, objetivando a maior absorção de água e nutrientes pelas plantas.

O sistema radicular do cafeeiro é pivotante, porém, na maioria das vezes as raízes se manifestam curtas, grossas, com o término súbito (SOUZA, 2017). Elas se concentram sob a projeção da copa da planta (MOTTA et al., 2006). Podendo atingir, aos 6 anos de idade, 1,50 m de profundidade (CARDUCCI et al., 2014). As raízes mais grossas desempenham a função de sustentação da planta e armazenamento de carboidratos, já as raízes de menor espessura são as responsáveis por absorver água e nutrientes do solo (PADOVAN et al., 2015).

No cafeeiro, as raízes são dependentes da parte aérea das plantas, onde qualquer alteração na parte aérea como podas, carga alta de frutos, ataque de pragas e doenças, podem levar ao depauperamento das raízes, promovendo a morte das raízes, em especial as de menores diâmetros (RENA; GUIMARÃES, 2000).

Para o cafeeiro, ter um sistema radicular profundo é de grande importância, pois variedades que apresentam essa característica são classificadas como resistentes à seca, devido ao melhor aproveitamento do conteúdo de água do solo em condições adversas (BARRETO et al., 2006). No entanto, o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular dependem, não apenas da genética da planta, mas também de vários outros fatores como a fertilidade, teor de umidade e aeração do solo (INFORZATO; REIS, 1963), fornecimento de nutrientes (AMARAL, 2002), qualidade das mudas e boa execução no transplântio, espaçamento de plantio, física do solo, teor de Al^{3+} (RENA; GUIMARÃES, 2000), acidez do solo (RAIJ, 2007), entre outros.

Se referindo à acidez do solo, os fatores mais importantes são a deficiência do Ca^{2+} e toxidez de Al^{3+} (RAIJ, 2007). A presença de Ca^{2+} na solução do solo, disponível na zona de crescimento radicular, é fundamental para o bom desenvolvimento das raízes, pois esse elemento apresenta baixa mobilidade, não sendo translocado de outras partes da planta para as raízes mais novas em crescimento (CAIRES et al., 2001).

Já o Al se acumula preferencialmente no sistema radicular das plantas, causando o engrossamento das raízes, diminuindo também o número de raízes laterais, responsáveis pela maior parte da absorção de água e nutrientes, retardando o crescimento e desenvolvimento das plantas (MATIELLO et al., 2016). Assim, o cafeeiro apresenta moderada tolerância ao Al^{+3} , pois altas saturações podem comprometer, em subsuperfície, o desenvolvimento de raízes no solo (RODRIGUES et al., 2001). Pavan e Bingham (1982), em estudo com a toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva, observaram que o efeito inicial da toxidez de alumínio foi caracterizado por um retardo no desenvolvimento e crescimento radicular, aumento no diâmetro das raízes e diminuição no número de raízes laterais por unidade de raiz principal. Observaram, também, reduções progressivas no crescimento da parte aérea plantas com seis meses de idade. Em estudos utilizando nove cultivares de café, realizados por BRACCINI et al. (1998), em plantas cultivadas em solução nutritiva com Al^{+3} , observou-se que a presença do alumínio ocasionou inibição de crescimento e desenvolvimento das partes aéreas e da raiz, além de redução do comprimento da raiz principal, altura das plantas e área foliar. Entretanto, os autores observaram aumento da proliferação de raízes secundárias, o que foi interpretado como sendo uma resposta à restrição da absorção de nutrientes.

Os efeitos deletérios causados pela acidez do solo são minimizados por meio do uso de corretivos de solo, sendo o calcário utilizado para correção do solo em camadas superficiais e a aplicação de gesso para a eliminação dos efeitos tóxicos do Al^{3+} e carreamento de Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidade.

Além dos fatores relacionados a acidez do solo o crescimento radicular pode ser afetado por fatores físicos do solo, dentre eles, a resistência do solo a penetração das raízes. Estudando este parâmetro na cultura do cafeeiro arábica encontrou-se uma correlação negativa com a altura e produtividade das plantas (CARVALHO, 2012), podendo ser resultado de um sistema radicular com baixa exploração do solo e baixa absorção de água e nutrientes.

2.2 Acidez do solo e calagem no cafeeiro

Os solos intemperizados, condição onde a maior parte da cafeicultura está instalada no Brasil, possuem naturalmente baixa fertilidade natural e elevada acidez, limitando a produtividade da cultura, se porventura não venham a ser realizadas a calagem e adubação de maneira coerente com a necessidade do solo e da cultura (GUARÇONI, 2017).

A acidez do solo é considerada o principal fator limitante da produção, por restringir o crescimento do sistema radicular, limitando assim a absorção de água e nutrientes pelas plantas (CRISTANCHO et al., 2014). O solo pode ser naturalmente ácido, em razão da carência em bases do material de origem do solo, ou a acidez pode ser desencadeada por processos que contribuem para a extração de nutrientes como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} dos colóides do solo, através do escorrimento de partículas superficial provocadas pela água das chuvas (NATALE et al., 2012), com a remoção eles são substituídos por H^+ e Al^{3+} , que são elementos acidificantes do solo (PREZOTTI et al., 2007). Além disso, os fertilizantes aplicados durante o ciclo da cultura, podem contribuir para a acidificação do solo, dentre eles, os fertilizantes nitrogenados, que na reação de nitrificação do amônio no solo, libera íons H^+ para a solução (SINGH, 2018). Assim como, com extração de cátions básicos (Ca, Mg e K) pelas culturas, as plantas buscam ajustar a eltroneutralidade na rizosfera, liberando íons H^+ (FAGERIA; NASCENTE 2014). Dentre os fatores que prejudicam o crescimento radicular, a alta concentração de Al^{3+} tóxico e os baixos teores de Ca^{2+} são os grandes responsáveis pelo mau desenvolvimento das raízes (PRADO; NATALE, 2004).

A prática da calagem é considerada uma das mais importantes no sistema de produção por minimizar esses fatores limitantes à produção. Ela tem o potencial de preparar o solo para receber a adubação, aumentando a eficiência dos fertilizantes, a produtividade e rentabilidade no sistema de produção agrícola (NATALE et al., 2010).

A calagem é constituída pela aplicação do calcário, o corretivo agrícola mais utilizado nos cultivos. Seus constituintes são o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3) que são responsáveis pela neutralização de elementos tóxicos (SA; BOYD, 2017). Esse produto é originário da moagem de rochas calcárias, principalmente de origem sedimentar, a sua qualidade está relacionada as suas propriedades químicas, referente ao seu poder neutralizante, e físicas, referente a sua eficiência relativa vinculada a natureza da rocha e o grau de moagem realizado (KURIHARA et al, 1999; SORATTO et al., 2019). Apresenta baixa solubilidade em água, para desempenhar seu papel neutralizante no solo é imprescindível o contato com alta umidade no solo (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015).

A calagem proporciona a neutralização do Al e Mn tóxicos, auxilia na correção da acidez do solo, fornece Ca e Mg, elementos essenciais as plantas cultivadas, e, por fim, aumenta a disponibilidade da maior parte dos nutrientes requeridos pela cultura do café (ZANDONÁ et al., 2015). Além desses fatores, a calagem proporciona outros benefícios como a diminuição da lixiviação do potássio (K) e da fixação do fósforo (P), aumenta a disponibilidade de molibdênio (Mo), aumenta a atividade microbiana, acelerando a decomposição da matéria orgânica do solo, desencadeia a movimentação do Ca e Mg em maior profundidade (ANDRADE, 2020), promovendo melhorias no ambiente radicular.

A aplicação de calcário no cultivo da goiabeira promoveu o aumento de Ca^{2+} até 40 cm de profundidade, indicando o movimento dessa base no solo, melhorando o seu crescimento do sistema radicular (PRADO; NATALE, 2004). Os mesmos autores, no ano de 2004, avaliando a aplicação de calcário no desenvolvimento do sistema radicular da caramboleira, observaram maior absorção de Ca pelas plantas, refletindo em maior acúmulo de matéria seca da raiz e, conseqüentemente, em maior produção de frutos.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo para a cultura do cafeeiro devem ser, respectivamente, superiores a 25 e 8 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, assim, o tipo de calcário a ser aplicado deve ser definido de acordo com a relação Ca/Mg do solo, a relação ideal para a cultura do café é de 3:1 (FERRÃO et al., 2009). De acordo com van Raij et

al. (1997), com base na análise da camada de 0-0,20 m, o calcário deve ser aplicado para elevar a saturação por bases (V%) para 50% e a concentração de Mg^{2+} para um mínimo de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com a aplicação de calcário realizada principalmente em faixa, na projeção da copa das plantas. Entretanto, Guimarães et al. (1999) sugerem que a V% seja elevada para 60% na camada de solo de 0 a 0,07 m sob o dossel do cafeeiro, sendo a recomendada a correção da dose de calcário para com a faixa aplicada. Sendo assim, se a aplicação de calcário for feita apenas na faixa de adubação, a dose deve ser reduzida de forma proporcional. Portanto, a calagem na cultura do café, pode ser realizada em faixa, aplicada sob a projeção da copa do cafeeiro, com intuito de corrigir na faixa em que é aplicado os fertilizantes, e em área total, quando é necessário a correção nas entrelinhas, para que não haja influência sob a faixa de concentração dos fertilizantes (ANDRADE, 2020).

Devido a essas diferentes recomendações, surge o questionamento de quais doses do corretivo e forma de aplicação, levaria a melhor correção da acidez e efeito sobre os nutrientes do solo, acentuando assim, a importância de estudos comparativos, para que se tornem suporte adicional para a recomendação adequada de V%, dosagem e local de aplicação para a lavoura cafeeira, a fim de proporcionar a nutrição adequada, visando elevadas produtividades (RAIJ et al., 1996).

2.3 A prática da gessagem no cafeeiro

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um sal neutro, que pode ser obtido em jazidas de gipsita, por meio da calcinação da rocha (OLIVEIRA et al., 2012). Porém, em sua maior parte é obtido como subproduto da reação do ácido sulfúrico com a rocha fosfatada que forma o sulfato de cálcio, na indústria de fertilizantes fosfatados (SCHIMIDT FILHO et al., 2016). De acordo com Pinto (2007), para cada tonelada de P_2O_5 produzida se origina 4,5 toneladas de gesso agrícola. O gesso é fonte de Ca e S, possuindo em torno de 19% de Ca e 15% de S (EMBRAPA, 2016). Desse modo, esse produto tem sido empregado nas lavouras para minimizar os teores tóxicos de Al^{3+} e aumentar os teores de Ca^{2+} no subsolo (RAMOS et al., 2013).

A ação desse condicionador de solo auxilia no crescimento e desenvolvimento das raízes no subsolo (RAIJ, 2008), através da percolação de bases como o Ca, Mg e K para a subsuperfície do solo (MATIELLO et al., 2005), da neutralização do Al^{3+} , eliminando assim as barreiras químicas existentes no solo que impossibilitam o aprofundamento das raízes (RAMOS et al., 2013), aumentando a absorção de água e

nutrientes pelo sistema radicular das plantas (CARVALHO; RAIJ, 1997). Estes efeitos foram observados em diversos estudos, como no realizado por Pauletti et al. (2014), em que, avaliando o efeito a longo prazo da aplicação conjunta de gesso e calcário constataram a redução da saturação pelo Al^{3+} e o aumento dos teores de Ca^{2+} e S no solo, proporcionados pela ação do gesso agrícola.

A eficiência do gesso agrícola depende de sua solubilidade em água, que é influenciada por vários fatores como a forma de aplicação e granulometria do produto. A sua solubilidade é significativamente maior que a do calcário, permitindo que seja deslocado para camadas mais profundas do solo (BARROS et al., 2005).

Para a recomendação da dosagem do gesso agrícola, deve se observar camadas mais profundas solo, através da análise de solo realizada a uma profundidade de 0,20-0,40 m e observar a manifestação de características como: teor de Ca^{2+} abaixo de 4 mmolc dm^{-3} e/ou saturação de alumínio acima de 50%. O gesso deve ser aplicado na superfície do solo, não sendo necessário a incorporação, devido a sua solubilidade (RAIJ et al., 1997). Existem várias recomendações de necessidade de gessagem para a cultura do café, dentre elas, a baseada na % de argila do solo (SOUZA; LOBATO; REIN, 2005; RAIJ et al., 1997) e na elevação da saturação por bases (V%) e CTC, na camada de 0,20 a 0,40 m (DEMATTÊ, 1986; VITTI et al., 2008). No entanto, apesar do teor de argila ser um atributo do solo que pode ser usado para estimar a necessidade de gessagem, tais métodos são incompletos porque não consideram a profundidade de ação do gesso e a natureza da fração argila, muitas vezes subestimando as doses (RAIJ, 2008).

Recentemente, Caires e Guimarães (2018), publicaram uma nova recomendação para o sistema de plantio direto, baseada na elevação do Ca^{2+} na CTC do subsolo. Ela resulta em doses mais elevadas de gesso, e vem sendo estudada em várias outras culturas (BOSSOLANI et al., 2020; BOSSOLANI et al., 2021; FIRMANO et al., 2021), no entanto, ainda não foi estudada para a cultura do café. Estudos utilizando a recomendação de gessagem a fim de elevar o Ca^{2+} na $\text{CTC}_{0,20-0,40 \text{ m}}$ na cultura do café, pode trazer bons resultados a fertilidade do solo e nutrição da cultura, devido ao potencial de exploração do sistema radicular do cafeeiro, que pode chegar até 2 m de profundidade (CARDUCCI et al., 2014).

Nas lavouras cafeeiras em produção, o gesso é aplicado a lanço na superfície do solo, sendo carregado para o subsolo com a ação da umidade, neste caso, se o solo necessitar de calagem, pode-se aplicá-lo misturado com o calcário (MALAVOLTA et

al., 1993). Sua aplicação na cultura tem sido efetuada com o intuito de proporcionar melhoria das características químicas do ambiente de crescimento radicular das plantas, fornecendo condições adequadas para o desenvolvimento em profundidade (RODRIGUES et al., 2015). Ramos et al. (2013), avaliando o efeito da aplicação de doses elevadas de gesso no cafeeiro, observaram a eficiência na melhoria do ambiente radicular no subsolo, além de aumentar os teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} na solução do solo.

2.4 Associação da calagem e gessagem no cafeeiro

A associação da aplicação do calcário e do gesso pode trazer benefícios concretos às culturas, uma vez que o calcário aplicado superfície tem sua ação limitada às camadas superficiais do solo, portanto, a aplicação do gesso agrícola pode ser uma alternativa para aumentar os teores de Ca^{2+} no subsolo e diminuir os teores de Al tóxico (SORATTO; CRUSCIOL, 2008), trazendo melhorias ao ambiente de crescimento radicular, permitindo que as raízes cresçam em profundidade e tenham maior eficiência na absorção de água e nutrientes (CAIRES et al., 1998).

Diante das características benéficas da aplicação de calcário e gesso de forma isolada, é de se esperar que aplicação conjunta desses possa trazer a correção da acidez do solo, redução da saturação por alumínio, aumento do fornecimento de nutrientes em profundidade, assegurando um ambiente mais propício ao desenvolvimento radicular ao longo do perfil do solo (COSTA et al., 2020). Existem indícios que essa técnica permite um movimento descendente acentuado do gesso, que se torna fonte de Ca para o crescimento de raízes em profundidade favorecendo a exploração da água armazenada em camadas profundas reduzindo os riscos de perdas por estiagem (CARDUCCI et al., 2014). Contudo, essa aplicação combinada ainda não é bem entendida para cultura do café. Parecido et al., 2021b, estudando a calagem e gessagem no cafeeiro arábica, não encontraram sinergia entre os corretivos para a produtividade, sendo que essa variável aumentou 44% com a aplicação isolada de calcário. A calagem combinada com a gessagem aumentou teores foliares de Ca e Fe em alguns anos de cultivo, sem tendência para ciclos consecutivos, esses autores também observaram essa oscilação para produtividade do cafeeiro dos tratamentos que combinavam a gessagem e calagem durante 5 anos de cultivo.

Assim, são necessários maiores estudos sobre os efeitos da calagem e gessagem aplicadas de forma conjunta na cultura do café. Sendo estudo baseado na hipótese de que a associação da calagem e gessagem corrige a acidez do solo nas camadas superficiais e melhora as condições do ambiente de crescimento radicular em profundidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, caracterização da área e tratamentos

O presente estudo é parte, de um experimento maior, instalado em fevereiro de 2015, em área cultivada com cafeeiro arábica, no Sítio Três Irmãos, localizado no município de Manduri-SP (PARECIDO, 2020). A área do experimento apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 49°14' O e 23°03' S, com altitude de 730 m.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, tropical, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO & DRUGOWICH, 1994), com temperatura média anual de 21,1 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.457 mm (CEPAGRI, 2021). Na Tabela 1 estão apresentados os valores de temperatura média e precipitação mensais, registrados desde o início do experimento (fevereiro de 2015) até julho de 2021. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018).

A implantação da lavoura de café foi realizada em fevereiro de 2013, com o plantio de mudas da cultivar Catuaí Amarelo – IAC 74, no espaçamento 3,5 × 0,70 m, perfazendo uma população de 4.082 plantas ha⁻¹. A área onde a lavoura foi plantada havia sido cultivada por vários anos com café arábica (Catuaí Vermelho), sendo este erradicado após a colheita de 2012. No final de janeiro de 2013, após cultivo de milho silagem, a área foi preparada e a nova lavoura de café foi planta em fevereiro, sem aplicação de corretivos da acidez do solo (PARECIDO, 2020).

Entre o final de 2014 e início de 2015, foram coletadas amostras aleatórias de solo, nas profundidades de 0,00-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, para análise granulométrica (Tabela 2). Também foram coletadas amostras nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, na projeção da copa das plantas, para a caracterização química, segundo metodologias descritas por Raij et al. (2001) (Tabela 3). O solo apresenta textura franco arenosa (LEMOS; SANTOS, 1996).

Tabela 1 - Temperatura média e precipitação mensais, da instalação do experimento (fevereiro de 2015) até julho de 2021. Manduri-SP

Mês	Ano						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Temperatura média (°C)							
Janeiro	-	22,7	25,0	24,4	26,2	24,8	22,8
Fevereiro	22,8	23,8	25,5	23,1	24,7	23,9	24,3
Março	22,2	21,4	24,3	25,3	24,3	23,9	25,0
Abril	20,9	20,8	21,8	22,1	22,7	20,8	24,6
Maio	17,8	14,6	20,0	19,6	20,7	17,2	14,5
Junho	16,5	11,9	17,1	18,9	18,4	18,8	10,4
Julho	16,4	15,4	16,4	18,4	16,3	17,7	13,4
Agosto	17,9	18,3	18,3	17,1	18,8	18,0	-
Setembro	20,7	19,5	22,4	20,6	19,6	22,8	-
Outubro	22,1	22,2	22,4	22,2	24,7	25,5	-
Novembro	22,6	23,5	22,6	23,4	24,4	24,4	-
Dezembro	23,2	24,4	24,5	24,8	24,5	24,6	-
Precipitação pluvial (mm)							
Janeiro	-	211	288	257	131	138	130
Fevereiro	164	68	147	58	171	218	109
Março	119	123	115	180	120	20	97
Abril	66	57	166	23	74	43	0
Maio	81	156	261	25	78	43	0
Junho	15	88	145	26	86	98	1
Julho	127	11	1	15	113	10	22
Agosto	26	89	91	141	1	92	-
Setembro	184	61	10	126	24	34	-
Outubro	126	214	195	145	51	12	-
Novembro	251	69	206	87	232	129	-
Dezembro	77	134	225	158	138	168	-

Tabela 2 - Características granulométricas do solo da área de instalação do experimento. Manduri-SP

Profundidade (m)	Areia	Silte	Argila
	(g kg ⁻¹)		
0,00-0,20	709	200	91
0,20-0,40	552	388	60
0,40-0,60	528	400	72

Tabela 3 - Características químicas do solo da área, na projeção da copa das plantas de café, antes do início do experimento (outubro de 2014) e antes da reaplicação dos corretivos (outubro de 2020), nos tratamentos controle, dose recomendada de calcário na faixa (CR-F) e dose recomendada de gesso na faixa (G-F). Manduri-SP

Característica	Outubro de 2014	Outubro de 2020		
	Original	Controle	CR-F	G-F
Profundidade 0-0,20 m				
pH(CaCl ₂)	4,6	3,8	4,0	3,7
M.O. (g dm ⁻³)	19	26	29	25
P _{Resina} (mg dm ⁻³)	34	101	108	115
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	6	14	13	13
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	35	55	57	58
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	3	5	2	3
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	2,2	1,7	3,3	2,4
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	14	9	12	11
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	3	2	4	2
CTC (mmol _c dm ⁻³)	54	68	76	73
V (%)	36	19	25	21
Profundidade 0,20-0,40 m				
pH(CaCl ₂)	4,1	3,9	3,9	3,7
M.O. (g dm ⁻³)	19	23	21	20
P _{Resina} (mg dm ⁻³)	21	33	22	29
S-SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	8	21	18	18
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	49	66	63	65
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	8	14	13	13,2
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	2,0	1,5	1,7	1,9
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	8	7	8	7
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	3	2	3	2
CTC (mmol _c dm ⁻³)	62	77	76	76
V (%)	21	14	17	14

No início de outubro de 2020 foi realizada uma amostragem de solo nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m da projeção da copa dos cafeeiros das parcelas dos tratamentos controle, CR-F e G-F, para nova caracterização química, segundo Raij et al. (2001) (Tabela 3), visando definição de doses para reaplicação dos tratamentos.

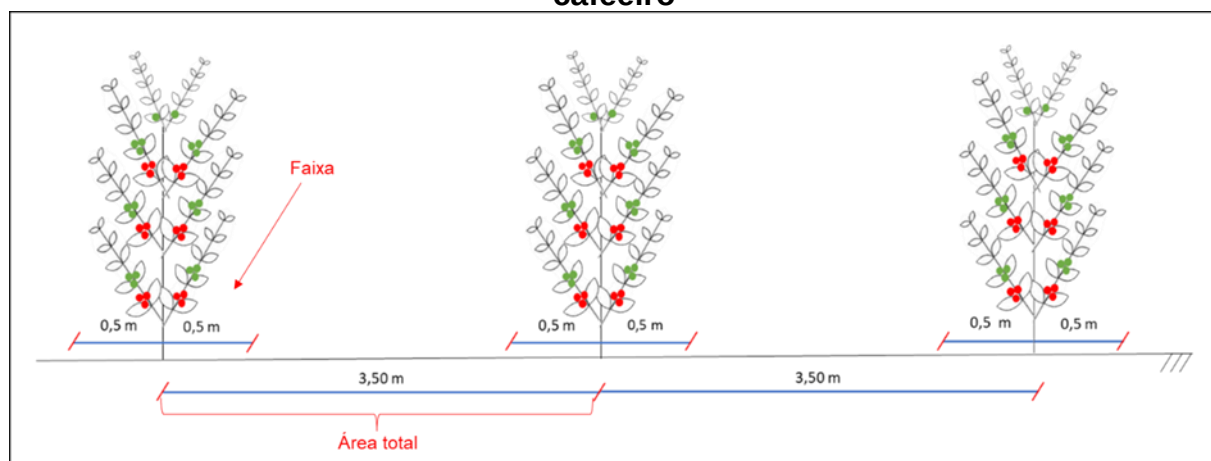
Nessa mesma época, também foi realizada a caracterização física do solo, nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 m, abaixo da projeção da copa e entrelinha da cultura, no tratamento controle, sendo determinado a densidade, macro e microporosidade e porosidade total (Tabela 4).

Tabela 4 - Porosidade total (Pt), microporosidade (micro), macroporosidade (macro), e densidade do solo (Ds), antes da aplicação dos tratamentos. Manduri-SP

Profundidade (m)	Projeção da copa				Entrelinha			
	Pt	Micro (m ³ m ⁻³)	Macro	Ds (g cm ⁻³)	Pt	Micro (m ³ m ⁻³)	Macro	Ds (g cm ⁻³)
0-0,10	0,29	0,11	0,18	1,64	0,24	0,10	0,14	1,80
0,10-0,20	0,27	0,12	0,15	1,74	0,27	0,14	0,13	1,81
0,20-0,40	0,31	0,14	0,17	1,66	0,29	0,14	0,15	1,72
0,40-0,60	0,33	0,15	0,18	1,54	0,31	0,14	0,17	1,67
0,60-0,80	0,31	0,14	0,17	1,59	0,28	0,11	0,17	1,55

O delineamento experimental adotado na instalação do experimento foi em blocos casualizados, com três repetições. Foram estudados oito tratamentos constituídos pela aplicação de calcário e/ou gesso, de forma isolada ou combinada, na faixa da projeção da copa dos cafeeiros ou em área total: Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa); G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total (Tabela 5; Figura 1). Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 8,4 m de comprimento cada, com 12 plantas por fileira. A parcela útil é composta pelas oito plantas da fileira central.

Figura 1 - Esquema representativo da aplicação em faixa e área total no cafeeiro



As recomendações existentes atualmente para lavouras já implantadas nas principais regiões cafeeiras indicam: elevar a V% a 60, e calcular a quantidade de calcário (QC) em função da superfície de aplicação (área total ou faixa), da

profundidade de incorporação (± 7 cm) e do PRNT do calcário (GUIMARÃES et al., 1999), e/ou, elevar a V% a 50 e aplicar a maior quantidade indicada por hectare na faixa do terreno que recebe a adubação (RAIJ et al., 1997).

No presente trabalho cálculo da aplicação de calcário inicial (fevereiro de 2015), utilizaram-se os seguintes critérios: a dose recomendada de calcário foi calculada de acordo com a análise de solo, visando elevar a saturação de bases (V%) a 60%, com a aplicação em área total e profundidade efetiva de 0-0,20 m. Deste modo, foi utilizada a mesma dose do corretivo por hectare, variando apenas a localização/concentração na faixa, de acordo com a forma de aplicação. A dose de gesso aplicada em fevereiro de 2015 foi calculada segundo Raij et al. (1997). Foi utilizado calcário dolomítico com 31,5% de CaO; 9,3% de MgO e 61% de PRNT e o gesso utilizado continha 20,6% de Ca e 10,0% de S. Os corretivos foram fornecidos mediante uma única aplicação na superfície do solo (PARECIDO 2020). Nos tratamentos com aplicação na faixa, o calcário e/ou gesso foram aplicados em 1,0 metro de largura, sob a fileira de planta, constituindo uma cobertura de 2857 m² por hectare, já a aplicação em área total foi realizada em toda a superfície do terreno, ou seja, 10.000 m². Como aos 3,5 anos, verificou-se que os efeitos da aplicação já haviam se atenuado, decidiu-se pela realização da reaplicação dos tratamentos (PARECIDO et al., 2021a; PARECIDO et al., 2021b).

Para a reaplicação do calcário (outubro de 2020), a dose recomendada foi calculada seguindo a mesma metodologia já descrita (Raij et al., 1997) e com base nos resultados da camada de 0-0,20 m do tratamento CR-F (Tabelas 3). Já a dose recomendada de gesso (NG) para reaplicação em 2020 foi feita com base nos resultados da camada de 0,20-0,40 m do tratamento G-F e segundo Caires e Guimarães (2018), sendo calculada de acordo com a fórmula:

$$NG \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (0,6 \times CTC_{\text{efetiva}} - \text{teor de Ca em cmol}_c \text{ dm}^3) \times 6,4$$

O calcário utilizado em 2020 possuía 42% de CaO, 11% MgO e 93% de PRNT; já o gesso agrícola possuía 16% de Ca e 13% de S.

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos constituídos da aplicação de calcário e gesso

Trat.		Descrição	Fevereiro 2015		Outubro 2020	
			Calcário	Gesso	Calcário	Gesso
			(kg ha ⁻¹)			
Controle	Sem aplicação	-	-	-	-	
CR-F	Dose recomendada de calcário, na faixa	2100	-	2900	-	
CD-F	Dobro da dose de calcário, na faixa	4200	-	5800	-	
G-F	Dose recomendada de gesso, na faixa	-	2300	-	4800	
CR+G-F	Dose recomendada de calcário + gesso, na faixa	2100	2300	2900	4800	
CD+G-F	Dobro da dose de calcário + gesso, na faixa	4200	2300	5800	4800	
CD-T	Dobro da dose de calcário, em área total	4200	-	5800	-	
CD+G-T	Dobro da dose de calcário + gesso, em área total	4200	2300	5800	4800	

Vale destacar que, na aplicação inicial (fevereiro de 2015), a dose de 2100 kg ha⁻¹ de calcário aplicado na faixa (projeção da copa) equivaleu à 735 g m⁻² da faixa, enquanto a mesma dose aplicada em área total forneceu 210 g m⁻². Na reaplicação, a dose de 2900 kg ha⁻¹ de calcário aplicado na faixa, forneceu 1015 g do corretivo por m² da faixa, enquanto em área total foi fornecido 290 g m² da área total. Da mesma forma, nos tratamentos dobro da dose, as quantidades foram de 1470 e 420 g m⁻² em 2015 e 2030 e 580 g m⁻² em 2020, respectivamente. A dose de gesso de 2300 kg ha⁻¹, calculada em 2015, equivaleu a 805 g m⁻² da área aplicada na faixa, enquanto em área total foi aplicado 230 g m⁻². Em 2020, a dose calculada de 4800 kg ha⁻¹, equivaleu a 1680 g de gesso por m² da área aplicada na faixa, enquanto em área total foi aplicado 480 g m⁻².

3.2 Cultivar utilizada

A cultivar de café arábica Catuaí Amarelo IAC 74, utilizada no presente experimento, obtida através do cruzamento entre plantas selecionadas de Caturra e de Mundo Novo. Tendo como características principais o porte baixo (tipo Caturra) e frutos com exocarpo (casca) amarelo e, buscando associar a rusticidade e a produtividade do Mundo Novo (CARVALHO; MONACO, 1972).

A arquitetura da planta é cilíndrica e compacta, com folhagem de verde intenso. Provavelmente, devido, em parte, à sua copa com ramagem compacta, com dificuldade de penetração de luz, a planta de Catuaí é mais protegida contra ventos frios e o calor, resistindo mais a períodos de estiagem. Também apresenta menor prejuízo em função do ataque da ferrugem, pois a desfolha ocorre mais lentamente (MATIELLO et al., 2016).

A cultivar Catuaí Amarelo, pode produzir em média 30 a 40 sacas de café beneficiado, por hectare, em plantio convencional. Já em produtores mais tecnificados, com áreas irrigadas, podem obter produtividade média de 60 sacas de café beneficiado por hectare (CARVALHO, 2007).

3.3 Condução dos experimentos

Durante toda a condução do experimento a lavoura foi manejada segundo critérios do produtor, com exceção para aplicação de corretivos de acidez do solo (PARECIDO, 2020). Nos anos agrícolas de 2019-2020 e 2020-2021, as adubações constaram das seguintes quantidades de N-P₂O₅-K₂O, em kg ha⁻¹: 350–60–300 em 2019–2020 e 350-60-250 em 2020–2021, utilizando os fertilizantes formulado N-P₂O₅-K₂O 20-00-20, formulado N-P₂O₅-K₂O 08-28-16 + 1,0% de Ca + 4,0% de S, nitrato de amônio (32% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O). As doses dos fertilizantes foram divididas em quatro aplicação, aproximadamente a cada quarenta dias, entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada (adubadora pendular – Vicon, com pêndulo especial para adubação em duas faixas), distribuindo-se uniformemente as doses dos fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café.

No ano agrícola de 2019-2020, também foram aplicados, 1,5 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Nutry Amino (5,0% de N, 8,0% de P₂O₅, 5,0% de K₂O, 0,4% de B, 0,2% de Cu, 0,6% de Mg, 0,5% de Mn, 1,0% de Zn e 5,0% de Carbono orgânico total), nos meses de setembro, outubro e fevereiro; e 1,5 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Phytogard (26,0% de K₂O), nos meses de novembro e fevereiro. No ano agrícola de 2020-2021, 0,6 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Limone (1,0% de N e 0,1% de B), no mês de setembro, 1,5 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Niphokam (10,0% de N, 8,0% de P₂O₅, 8% de K₂O, 1,0% de Ca, 0,5% de Mg, 0,5% de B, 0,2% de Cu, 0,5% de Mn e 1,0% de Zn) em outubro; e 3,0 L ha⁻¹ do fertilizante foliar Mover (5,0% de N, 4,0% de B, 0,17% de Cu, 0,015% de Mo e 4,5% de Zn) em fevereiro. Para ambas as aplicações foi utilizado um volume de calda de 400 L ha⁻¹.

O manejo fitossanitário também foi realizado de acordo com os critérios do produtor (PARECIDO, 2020). Nos dois ano agrícolas (2019-2020 e 2020-2021), foram utilizados em toda área experimental e de forma alternada os seguintes produtos: azoxistrobina + difenoconazol na dose de 130 g i.a. ha⁻¹; tebuconazol na dose de 200 g i.a. ha⁻¹, trifloxistrobina + tebuconazol na dose de 300 g i.a. ha⁻¹, azoxistrobina na

dose de 50 g i.a. ha⁻¹, para o controle da doença *Phoma spp.*; azoxistrobina + ciproconazol na dose de 210 g i.a. ha⁻¹, piraclostrobina + epoxiconazol na dose de 274,5 g i.a. ha⁻¹, piraclostrobina na dose de 175 g i.a. ha⁻¹, trifloxistrobina + ciproconazol na dose de 161 g i.a. ha⁻¹, oxicloreto de cobre na dose de 2,5 kg ha⁻¹ e hidróxido de cobre na dose de 2,0 kg ha⁻¹ para o controle das doenças *Cercospora coffeicola* e *Hemileia vastatrix*; espiroclorfenol na dose de 72,0 g i.a. ha⁻¹, abamectina na dose de 7,2 g i.a. ha⁻¹, para o controle dos ácaros *Brevipalpus phoenicis* e *Oligonychus ilicis*; tiametoxam na dose de 500 g i.a. ha⁻¹, clorantulaniliprole na dose de 31,5 g i.a. ha⁻¹, acetamiprido + bifentrina na dose de 350 g i.a. ha⁻¹, imidacloprido na dose de 700 g i.a. ha⁻¹, para o controle da praga *Leucoptera coffeella* e, clorantulaniliprole + abamectina na dose de 63 g i.a. ha⁻¹, clorpirifos na dose de 720 g i.a. ha⁻¹, acetamiprido + bifentrina na dose de 350 g i.a. ha⁻¹, ciantraniliprole na dose de 150 g i.a. ha⁻¹, para o controle da praga *Hypothenemus hampei*.

O controle de plantas daninhas na linha do cafeeiro foi realizado através da aplicação do herbicida de pós-emergência glifosato na dose de 1800 g i.a. ha⁻¹, mantendo limpa uma faixa de aproximadamente 0,5 m junto à projeção da copa das plantas de café, enquanto nas entrelinhas foram realizadas roçadas periódicas, no período de setembro a março de cada ano agrícola.

O preparo para a colheita foi realizado em março ou abril de cada ano, através da arruação (com o uso de arruador de café contendo um soprador de direcionamento independente e um varredor de borracha), visando manter a linha limpa, puxando todos os restos de plantas daninhas, as folhas e galhos do cafeeiro para a entrelinha. Em todos os anos, antes da arruação, realizou-se o controle das plantas daninhas em área total, com o uso do herbicida de pós-emergência glifosato na dose de 3260 g i.a. ha⁻¹ e, após a arruação, foi utilizado-se o herbicida de pré-emergência oxifluorfen na dose de 720 g i.a. ha⁻¹. Todas as aplicações de herbicidas foram feitas com o pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

3.4 Variáveis analisadas

3.4.1 Características químicas do solo

Foi realizada a amostragem de solo em abril de 2021, 6 meses após a aplicação dos tratamentos, para determinação das características químicas. Em cada parcela foram coletadas duas amostras simples nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-

0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, na projeção da copa das plantas e duas na entrelinha do cafeeiro, utilizando-se trado tipo tubular. As amostras compostas, formadas pela mistura das duas simples, foram secas ao ar, seguindo-se do peneiramento em malha de 2 mm.

Posteriormente, foram submetidas à análise para determinação do pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), H+Al, Al, Ca, Mg e K trocáveis, P_{resina} e saturação por bases (V%), segundo metodologias descritas por Raij et al. (2001). Foi também determinado o teor de S-SO₄²⁻, por meio de extração por solução de fosfato de cálcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0,01 mol L⁻¹). A quantificação foi feita por turbidimetria, provocada pela presença de BaSO₄, formado pela reação do BaCl₂.2H₂O com o SO₄²⁻, extraído das amostras de terra (VITTI, 1988).

3.4.2 Resistência do solo a penetração (RP)

As leituras em campo foram realizadas na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro em cada parcela, em 3 pontos em ambos, até a profundidade de 0,80 m.

Foi mensurada a resistência mecânica do solo à penetração das raízes em maio de 2021, por meio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF com ângulo de cone de 30°, apresentando massa de 4kg com impacto em queda livre a 40 cm de altura (STOLF, 1984; STOLF, et al., 2014).

3.4.3 Distribuição do sistema radicular do cafeeiro

Para a análise do sistema radicular das plantas de cafeeiro, foram coletadas amostras de solo com raízes em abril de 2021, localizadas a seis distâncias do tronco da planta para a entrelinha (0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 1,25 e 1,50 m), e em cinco profundidades de solo (0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m), por meio do uso de um trado do tipo tubular, em duplicata em cada parcela, sendo uma coletada de cada lado da fileira de plantas. Os pontos de amostragem foram localizados em direção perpendicular à fileira de planta, ou seja, da fileira para o centro da entrelinha. O trado utilizado apresentava 1,5 m de altura e 0,047 m de diâmetro interno, resultando em um volume solo coletado de 173,4 cm³ para camadas de 0,10 m e 346,8 cm³ para as camadas de 0,20 m. Dessa forma, a amostragem do sistema radicular foi estratificada em 30 amostras, compondo um plano, desde o tronco da planta até o centro da entrelinha, bem como da superfície até 0,80 m de profundidade.

As amostradas coletadas foram identificadas e armazenadas em sacos plásticos e mantidas em freezer (aproximadamente -4°C) até a separação das raízes, que foi realizada com auxílio de pinças e lavagem em água corrente, em peneiras de 30 e 60 mesh. Após a separação as raízes foram armazenadas em recipientes plásticos, com solução aquosa contendo 30% de álcool etílico e armazenadas sob refrigeração até a avaliação.

As amostras de raízes foram submetidas a um scanner de leitura ótica, na resolução de 300 dpi, e suas imagens serão digitalizadas e analisadas com o programa WinRhizo versão 3.8-b (Regent Instrument Inc.), para determinação do comprimento, diâmetro médio e área superficial das raízes do sistema radicular baseados no método de Tennant (1975).

Em seguida as amostras de raízes foram colocadas em latas de alumínio e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60° C por 48 h, para determinação da matéria seca.

3.4.4 Teores de nutrientes nas folhas

Para determinação dos teores foliares de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), foram coletadas 20 folhas por parcela, no terceiro par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos, na altura média da planta, em janeiro de 2021, conforme recomendações de Raij et al. (1997). As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água deionizada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.4.5 Altura de plantas e índice de área foliar (IAF)

A altura e o IAF foram mensurados nas mesmas plantas em que foram coletadas as amostras do sistema radicular, para avaliar o vigor das mesmas. A altura foi determinada medindo-se com uma régua graduada, da superfície do solo ao meristema apical da planta, nos meses de abril de 2021.

A determinação do IAF foi realizada segundo metodologia proposta por Favarin et al. (2002), considerando que a planta de café possui uma forma cônica. Assim, foi realizado o cálculo do volume do dossel segundo a equação: $V_c = 0,0134 + 0,7276D_i^2H_d$. Em que V_c corresponde ao volume do dossel (m³); D_i , ao diâmetro da

seção inferior do dossel (m); e Hd, à altura do dossel da planta (m) obtido pela diferença entre a altura da planta (ht) e a altura de inserção do primeiro par de ramos plagiotrópicos (hi). O IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) foi estimado pela substituição dos valores do volume do dossel, na equação: $\text{IAF} = 0,0134 + 2,7791V_c$.

3.4.6 Produtividade de grãos

Foi avaliada a produtividade de grãos nas safras 2020, antes da reaplicação e 2021, após a reaplicação. Foram colhidos os frutos de oito plantas da fileira central de cada parcela para a determinação da produtividade ha^{-1} . Os frutos foram derriçados no chão e, posteriormente, procedeu a varrição e abanação dos grãos. Para a secagem, foram amostrados 2 litros de café colhido do pé, por parcela, e realizada em casa de vegetação até atingir entre 11 e 12 % de umidade. Em seguida, os grãos “em coco” foram beneficiados. Com isso, foi efetuado o cálculo de rendimento de grãos beneficiados, ou seja, a porcentagem que esses grãos beneficiados representam da quantidade colhida de grãos “em coco”. Posteriormente, foi determinada a produtividade de grãos beneficiados, pesando-se a massa de grãos de café após o beneficiamento com uso de balança eletrônica. Finalmente foi calculada a produtividade de grãos em cada um dos tratamentos.

3.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para as variáveis de sistema radicular, o teste de média foi aplicado nas distâncias da planta para entrelinha de 0,5, 1,0, 1,5 m. Foi aplicada a análise de correlação de Pearson, para os dados de crescimento radicular e teores de Ca^{2+} e Al^{3+} do solo, na projeção da copa e entrelinha, onde 0,50 e 1,50 m de distância da planta representaram a projeção da copa e entrelinha, respectivamente, na análise do sistema radicular. Para as variáveis de crescimento radicular, foi aplicado a krigagem, a fim de buscar melhor representação e visualização da distribuição das variáveis radiculares no perfil do solo, em todas as distâncias amostradas (0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 1,25 e 1,50 m), com a confecção dos gráficos de distribuição ao longo do perfil do solo, com auxílio do software Surfer 12 (GOLDEN SOFTWARE INC., 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características químicas do solo

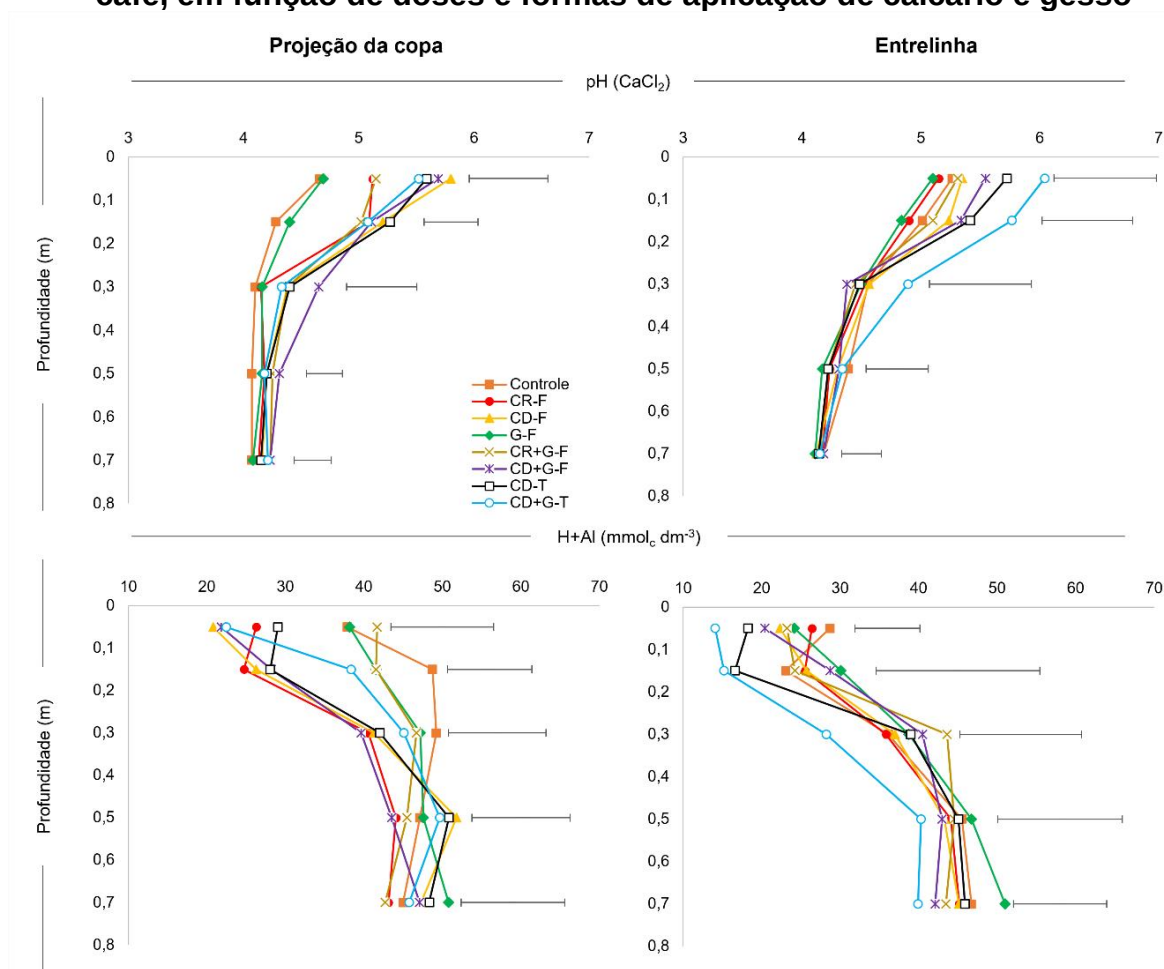
Ao avaliar o pH, na projeção da copa e entrelinha, observou-se efeitos dos tratamentos apenas nas profundidades de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m (Tabela 6). Na projeção da copa do cafeeiro, todos os tratamentos com calagem, associado ou não ao gesso, independentemente da forma de aplicação (faixa ou área total), elevaram os valores de pH na camada de 0–0,10 m, a uma faixa de 5,1 a 5,8, enquanto o controle e o gesso isolado se mantiveram em 4,7 (Figura 2). Na profundidade de 0,10–0,20 m, foi observado comportamento similar a camada superior, sendo que o pH dos tratamentos com a calagem variaram de 5,1 a 5,3, em comparação com o controle e o tratamento com gesso na faixa (G-F), que permaneceram com valores de 4,3 e 4,4, respectivamente. A aplicação de calcário de maneira geral elevou os valores de pH a faixa ideal para a cultura, 5,5–6,5, na camada de 0–0,10 m (MATIELLO et al., 2005).

Na entrelinha da cultura, de forma geral, foram observados valores maiores de pH, uma vez que esse local seria menos acidificado do que na projeção da copa, onde é realizada a aplicação de fertilizantes, especialmente os nitrogenados, principal causa de acidificação do solo (VANZOLI et al., 2017). Neste caso, a forma de aplicação em área total, de maneira geral, se destacou na elevação do pH, com ênfase para o tratamento com a aplicação do dobro da dose de calcário + gesso, em área total (CD+G-F), com valores de 6,0 e 5,8 nas camadas de 0–0,10 e 0,10–0,20 m; no entanto, ele não diferiu do controle (Tabela 6). Os tratamentos com menores pH foram aqueles com aplicação da dose recomendada de calcário (CR-F) e gesso (G-F), ambos aplicados em faixa (Figura 2). O aumento do pH, na entrelinha, ao aplicar o dobro da dose de calcário associado ao gesso, em área total, pode ser atribuído a maior dose de calcário aplicada por m² (580 g); no entanto, ele apresentou similaridade aos demais tratamentos contendo calcário, exceto a aplicação deste na dose recomendada em faixa. Esse fato pode ter ocorrido devido às práticas de manejo na lavoura (capina puxada, arruação e esparramação). Tais práticas tendem a mover parte da superfície do solo presente sob a fileira de plantas para a entrelinha, com isso, pode ter levado à entrelinha parte dos corretivos que foram aplicados na superfície do solo na faixa. A elevação do pH apenas nas camadas superficiais (0–0,10 e 0,10–0,20 m) pode ser atribuída a baixa solubilidade do carbonato.

Tabela 6 - Probabilidade de F para os resultados de pH, H+Al, Al³⁺ e m% no solo, nas profundidades de 0,00-0,10 a 0,60-0,80 m, sob a projeção da copa e na entrelinha da cultura do café, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Profundidade	pH(CaCl ₂)	H+Al	Al ³⁺	m%
Projeção da copa				
0,00–0,10 m	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0,10–0,20 m	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0,20–0,40 m	0,111	0,128	<0,001	<0,001
0,40–0,60 m	0,389	0,254	0,023	<0,001
0,60–0,80 m	0,524	0,466	0,003	<0,001
Entrelinha				
0,00–0,10 m	0,023	<0,001	0,050	<0,001
0,10–0,20 m	0,012	0,223	0,172	<0,001
0,20–0,40 m	0,625	0,079	0,009	<0,001
0,40–0,60 m	0,834	0,915	0,007	<0,001
0,60–0,80 m	0,989	0,091	0,001	<0,001

Figura 2 - pH(CaCl₂) e H+Al, na projeção da copa e entrelinha da cultura do café, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total

A mesma característica foi observada em estudo realizado com a aplicação superficial de calcário e fosfogesso na cultura do arroz em sistema de plantio direto tropical, em que a alteração do pH ocorreu apenas nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m aos 3 meses após a aplicação (CRUSCIOL et al., 2016). Parecido et al. (2021b) trabalhando com a aplicação de duas doses de calcário (2100 e 4200 kg ha⁻¹), em faixa ou área total, em lavoura já implantada de café arábica, observaram efeitos sobre o pH, apenas nas camadas superficiais do solo (0-0,10 e 0,10-0,20 m), aos seis meses após aplicação. Os resultados encontrados no presente trabalho evidenciam a necessidade de correção da acidez dos solos tropicais, tendo em vista que a acidez é um dos fatores que mais limitam a produtividade das culturas nessas regiões (BOSSOLANI et al., 2021).

A acidez potencial (H+Al) foi influenciada pelos tratamentos estudados nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m na projeção da copa e na camada de 0-0,10 m na entrelinha (Tabela 6). Na projeção da copa do cafeeiro, verificou-se que o calcário, independentemente do local de aplicação e associação com o gesso, foi eficiente em reduzir a acidez potencial do solo, exceto no tratamento CR+G-F (Figura 2). Já na entrelinha, os teores de H+Al na camada de 0-0,10 m foram reduzidos quando a aplicação foi feita em área total, principalmente no tratamento com o dobro da dose de calcário + gesso (CD+G-F). Na entrelinha da cultura, a redução dos valores de H+Al foi verificada nos tratamentos em área total (CD-T e CD+G-T), na camada de 0-0,10 m solo, podendo ser atribuída a distribuição dos insumos ter sido realizada em toda a cobertura do terreno, fornecendo maior quantidade dos corretivos por m² da região da entrelinha.

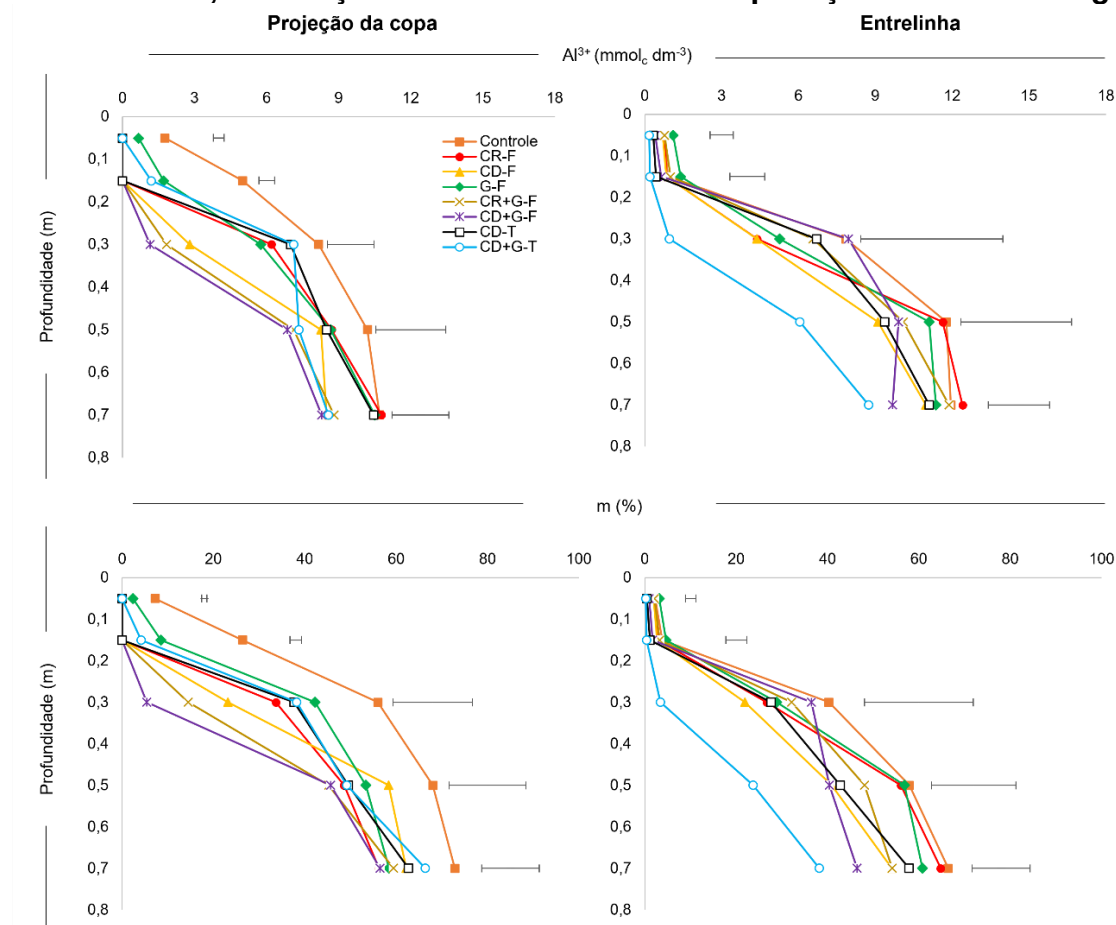
Os tratamentos estudados tiveram influência sobre os teores de Al³⁺, ao longo do perfil do solo (Tabela 6). Na projeção da copa, os teores foram reduzidos com a aplicação de calcário e gesso, em faixa ou área total, até a profundidade de 0,20 m, enquanto os maiores teores de Al³⁺ foram verificados no tratamento controle, sendo de 1,8 mmolc dm⁻³ e 5,0 mmolc dm⁻³ na camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente (Figura 3). Já nas camadas de 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 m, observa-se redução nos teores de Al³⁺ quando houve a associação do gesso, com destaque para os tratamentos CD+G-F, CR+G-F e CD+G-T. Na entrelinha, foi observado efeito dos tratamentos em todas as camadas, exceto na de 0,10-0,20 m, com maior redução dos teores de Al³⁺ no tratamento CD+G-T (Figura 3). Um importante aspecto a ser observado, é que o Al³⁺ é liberado em decorrência de baixos

valores de pH, sendo responsável pelos efeitos deletérios da acidez do solo, assim a prática da calagem causa a hidrólise desses íons de Al, diminuindo sua toxidez (BLUM; CAIRES; ALLEONI, 2013). Portanto, a redução dos teores de Al^{3+} proporcionado pela calagem na projeção da copa e entrelinha, nas camadas superficiais do solo, pode ter ocorrido devido a neutralização do Al^{3+} , pois o calcário ao ser aplicado, se hidrolisa, formando íons hidroxilas (OH), água e dióxido de carbono. O Ca^{2+} proveniente da hidrólise, desloca o Al^{3+} do complexo de troca para a solução do solo, até a formação de hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), composto não assimilável e consequentemente não tóxico para as plantas (RAMOS et al., 2013).

Parecido et al. (2021a), ao estudarem os efeitos da calagem na cultura do café, realizaram a aplicação do calcário (2100 e 4200 kg ha⁻¹), nos dois locais de aplicação, concluíram que a calagem melhorou eficientemente os atributos químicos do solo quando aplicado em faixa e reduziram efetivamente os teores de Al^{3+} nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m após 6 e 18 meses após a aplicação. Nesse estudo, foi verificado também que, os efeitos do Al^{3+} tóxico são reduzidos na camada superficial do solo, mas também em camadas subsuperficiais (0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m), na projeção da copa, mesmo sem ocorrer alteração dos valores de pH no subsolo, nos tratamentos combinados com o gesso. Em estudo com o uso de calcário e gesso em plantio direto, onde a aplicação também é realizada na superfície do solo, sem incorporação, Costa e Crusciol (2016) observaram a redução dos níveis de Al^{3+} em profundidade (0,40m), quando o gesso estava presente. A utilização do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pode promover a melhoria das características químicas do solo em camadas subsuperficiais, por apresentar maior solubilidade do que o calcário, sendo capaz de diminuir a atividade do Al^{3+} , através do incremento de Ca^{2+} e sulfato (SO_4^{2-}) (NORA et al., 2014).

Quanto a saturação por Al^{3+} (m%), os tratamentos apresentaram eficiência em todas as profundidades, na projeção da copa e entrelinha, exceto na profundidade de 0,10-0,20 m na entrelinha (Tabela 6). Na projeção da copa do cafeeiro, de maneira geral, os tratamentos com calcário e/ou gesso proporcionaram redução dos teores de m% ao longo do perfil do solo, com os menores valores proporcionado pelo tratamento a aplicação de CD+G-F (Figura 3). Vale lembrar que este mesmo tratamento na projeção da copa, reduziu Al^{3+} trocável até a profundidade 0,20 m. Já para a entrelinha da cultura, a aplicação do CD+G-T foi mais eficiente em reduzir a m% em todo o perfil do solo, com destaque em profundidade (0,20 a 0,80 m) (Figura 2).

Figura 3 - Al^{3+} e saturação por alumínio (m%), na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa); G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total

Na projeção da copa, em todas as camadas de solo, observou-se um incremento nos teores de S-SO_4^{2-} nos tratamentos com a presença de gesso, principalmente em profundidade, com destaque para o tratamento CD+G-T, onde verificou-se maiores teores de SO_4^{2-} ao longo do perfil do solo (Tabela 7; Figura 4). Esses resultados são semelhantes aos previamente encontrados com a aplicação de doses de calcário e gesso na cultura do café, onde a presença do gesso resultou em maiores concentrações de S-SO_4^{2-} em todo perfil em 6 meses após a aplicação, com maior incremento também na camada mais profunda (0,40 a 0,60 m) (PARECIDO et al., 2021a). Para a entrelinha da cultura os tratamentos mostram a mesma tendência, sendo que o CD+G-T, resultou em aumento dos teores de SO_4^{2-} , principalmente a partir da camada de 0,20-0,40 m (Figura 4). Esse incremento de SO_4^{2-} em

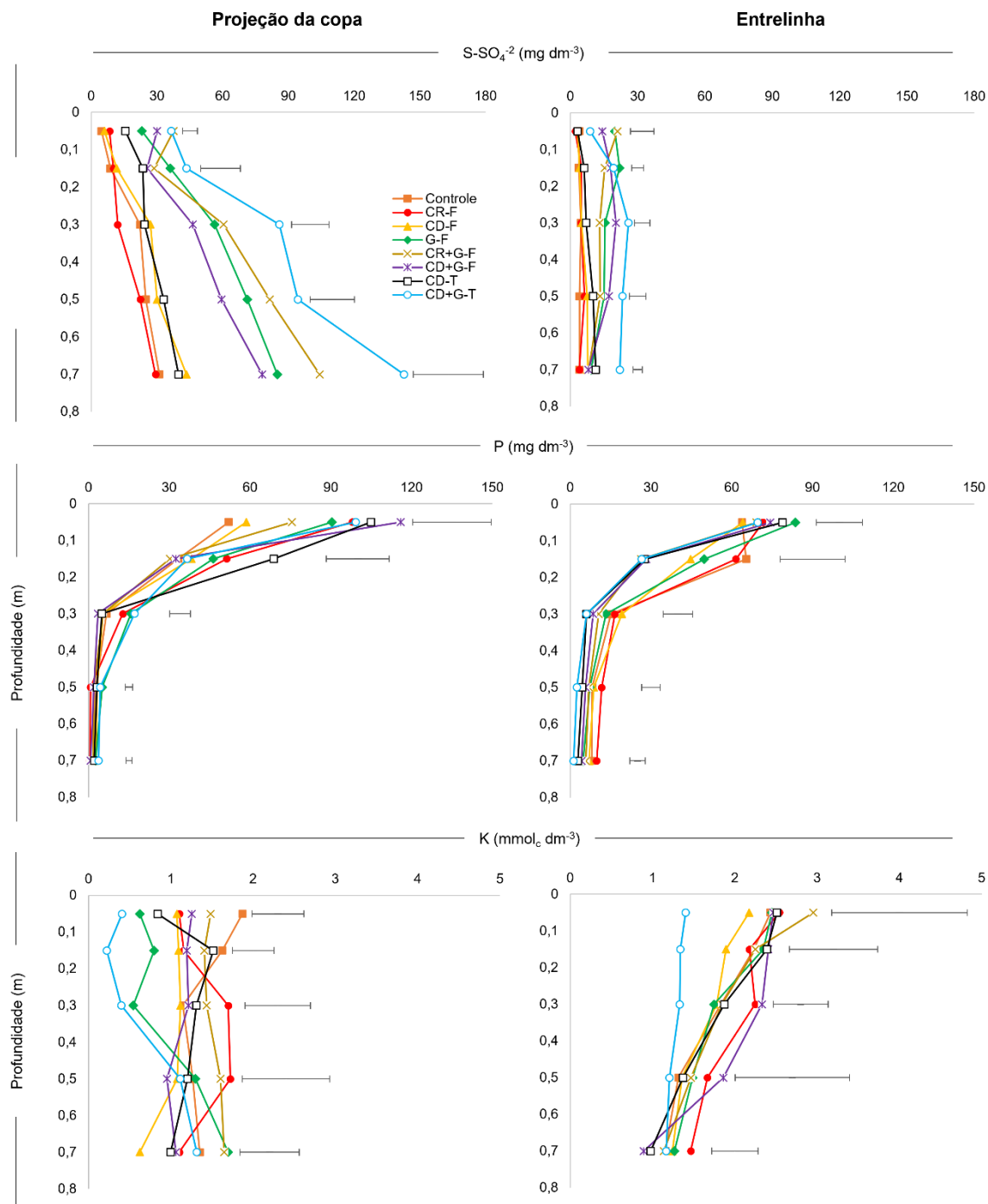
profundidade, proporcionado pela presença de gesso, confirma os resultados obtidos em vários outros estudos (REEVE; SUMMER, 1972; FARINA; CHANNON; THIBAUD, 2000; CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016; PARECIDO et al., 2021a).

Os teores de P foram influenciados pelos tratamentos em todos os locais e camadas estudadas (Tabela 7). Os maiores teores, tanto na projeção da copa como na entrelinha, foram observados nas camadas mais superficiais do solo (0-0,10 e 0,10-0,20 m), reduzindo em profundidade (Figura 4). No entanto, não foi observado a persistência de um tratamento no incremento dessa variável nas diferentes camadas, ocorrendo uma alternância dos mesmos entre elas. Na projeção da copa do cafeeiro, observa-se maiores teores de P no tratamento com o CD+G-F na camada 0-0,10 m e para o CD-T na camada de 0,10-0,20 m. Já nas camadas abaixo de 0,20 m, os maiores teores de P foram observados com o CD+G-T.

Tabela 7 - Probabilidade de F para os resultados de S-SO₄²⁻, P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo, nas profundidades de 0,00-0,10 a 0,60-0,80 m, sob a projeção da copa e na entrelinha da cultura do café, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Profundidade	S-SO ₄ ²⁻	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V
Projeção da copa						
0,00-0,10 m	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0,10-0,20 m	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0,20-0,40 m	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	<0,001
0,40-0,60 m	<0,001	0,001	0,246	0,009	0,209	0,059
0,60-0,80 m	<0,001	0,003	0,002	<0,001	0,398	0,003
Entrelinha						
0,00-0,10 m	<0,001	0,012	0,084	<0,001	<0,001	<0,001
0,10-0,20 m	<0,001	<0,001	0,052	<0,001	<0,001	0,008
0,20-0,40 m	<0,001	0,005	0,003	<0,001	0,010	0,002
0,40-0,60 m	<0,001	0,011	0,784	<0,001	0,209	0,001
0,60-0,80 m	<0,001	0,002	0,076	<0,001	0,043	<0,001

Figura 4 - $S-SO_4^{2-}$, P e K^+ , na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa); G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total

Quando analisada a entrelinha, a aplicação de G-F elevou os teores de P na camada de 0-0,10 m, em relação ao controle (Figura 4). Já nas camadas inferiores, o

incremento nos teores de P foi verificado com a aplicação isolada de calcário, com o CR-F nas camadas 0,10-0,20, 0,40-0,60 e 0,60-0,80, e com o CD-F na camada de 0,20-0,40. Observa-se que os teores de P da projeção da copa são mais elevados que na entrelinha, devido a aplicação localizada de fertilizantes na cultura.

Para os teores de K^+ observou-se efeitos significativos na projeção da copa do cafeeiro, exceto na camada de 0,40-0,60 m e na entrelinha, apenas na camada 0,20-0,40 m (Tabela 7). Na projeção da copa do cafeeiro, houve redução dos teores de K^+ pela presença do gesso, nas camadas superficiais de solo (Figura 4). Segundo Rampim et al. (2015), a utilização do gesso provoca a lixiviação de íons K^+ , em decorrência da formação de pares iônicos com SO_4^{2-} dissociados do gesso na solução do solo. Já na entrelinha, observa-se maior teor de K^+ para o tratamento com o CD+G-F, na camada 0,10-0,20 m (Figura 4).

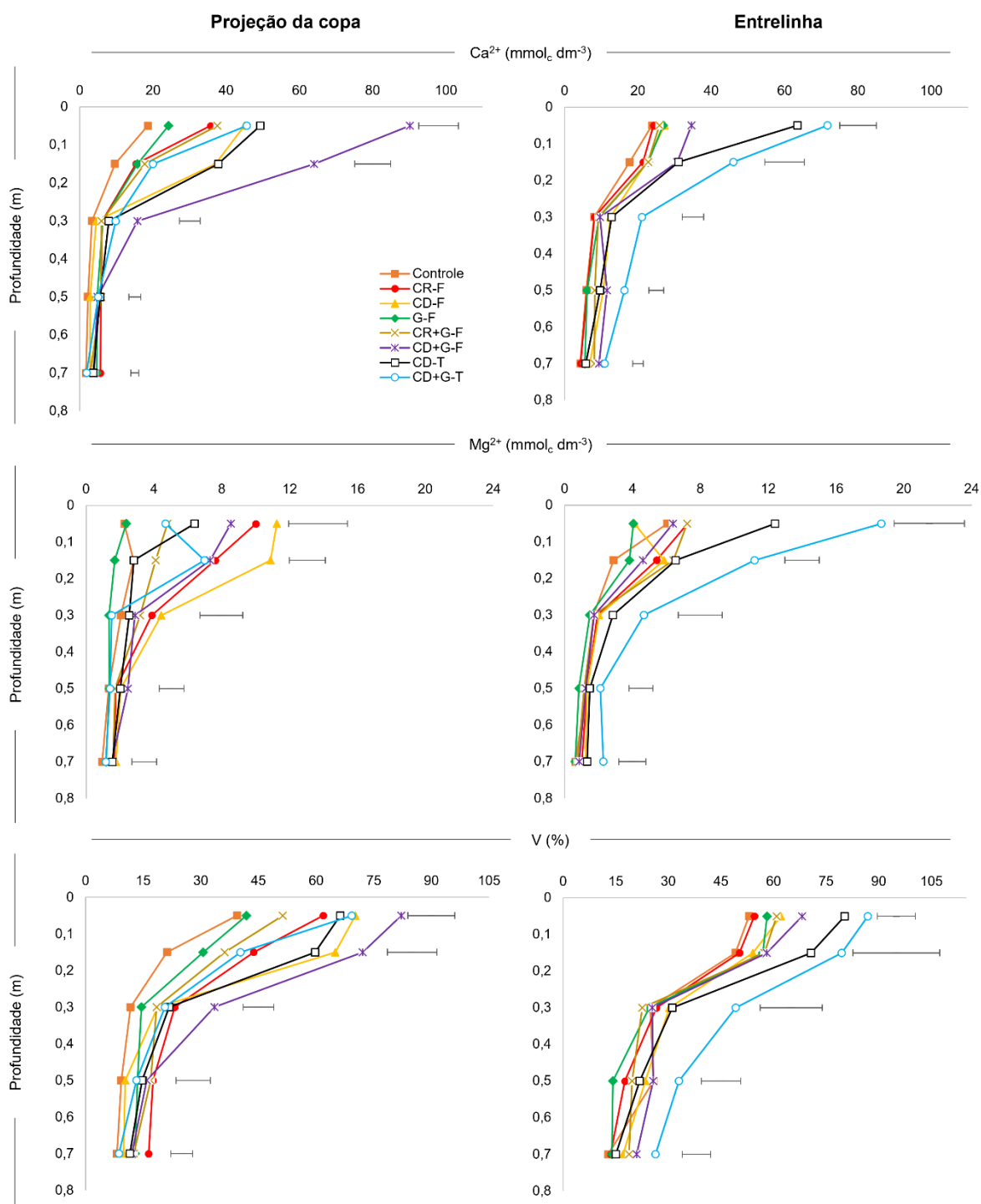
Apesar de nesse estudo ter sido realizada adubações potássicas em superfície na projeção da copa, no ano agrícola, foi verificado redução de K^+ , tanto em superfície como subsuperfície do solo, pela aplicação conjunta dos corretivos de acidez (Figura 4). Tal efeito pode estar relacionado à aplicação dos corretivos ter sido realizada em superfície e de forma concentrada na faixa, sendo ambos fontes de Ca. É entendido que o Ca^{2+} tem preferência nos sítios de troca na competição com o K^+ pelas cargas negativas do solo (LOYOLA Jr; PAVAN, 1989), e o aumento dos teores de Ca^{2+} no solo, provoca alterações nas relações entre Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , devido à inibição competitiva, resultando no desbalanço entre esses cátions, principalmente, na camada superficial do solo (RAIJ, 2008). Observa-se no presente estudo que o K^+ se descolou em profundidade no solo possivelmente por efeito da lixiviação, além da extração realizada pela cultura.

Os teores de Ca^{2+} foram influenciados pelos tratamentos em todas as camadas, tanto na projeção da copa como na entrelinha da cultura (Tabela 7). Na projeção da copa, o tratamento com CD+G-F proporcionou um significativo aumento nos teores de Ca^{2+} ao longo do perfil do solo, especialmente até a camada 0,20-0,40 m, isso porque a aplicação concentrada nesse tratamento proporcionou a maior dose desses insumos por m^2 , fornecendo uma maior quantidade de Ca ao solo. O incremento pelo tratamento CD+G-F, na camada 0-0,10 m, apresentou teores de $90,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto o controle $18,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 5). Resultado semelhante foi visualizado por Parecido et al. (2021b), trabalhando previamente nas mesmas parcelas com duas doses de calcário (2100 e 4200 kg ha^{-1}), aplicado em faixa ou área total, em lavoura

já implantada de café arábica, onde a calagem aumentou as concentrações de Ca^{2+} em todas as camadas, sendo observado na camada superficial (0–0,10 m) efeitos mais expressivos com uso da maior dose de calcário (4200 kg ha^{-1}), aplicado em faixa. Já na entrelinha, os teores de Ca^{2+} foram incrementados pelo tratamento que forneceu maior dose dos insumos por m^2 em área total, sendo a aplicação do CD+G-T (Figura 5). Esse tratamento proporcionou maiores teores de Ca em todas as camadas avaliadas na entrelinha. É visto que os tratamentos que aumentaram os teores de Ca^{2+} neste estudo foram aqueles que associaram calcário e gesso, uma vez que tanto o calcário quanto o gesso são fontes de Ca. Esse resultado é confirmado por Crusciol et al. (2016), que encontraram maiores concentrações de Ca em todas as camadas de solo avaliadas, quando se teve a associação do gesso agrícola, após 12 meses da aplicação superficial de calcário e gesso em sistema de plantio direto tropical. O Ca é o terceiro nutriente mais requerido pelo café, implicando na necessidade de boa distribuição desse elemento no solo, além de possuir papel importante na formação da sua fertilidade, que influencia diretamente no crescimento radicular (GUIMARÃES; REIS, 2010). Existem relatos para o cafeeiro sobre a relação da disponibilidade de Ca e produtividade, em que o aumento dos teores no solo leva a aumentos lineares na produção de café (CHAVES; PAVAN; MIYAZAWA, 1991).

Os teores de Mg^{2+} no solo, na projeção da copa, foram elevados com aplicação de calcário de forma isolada, em faixa, tanto na dose recomendada como dobro da dose três primeiras camadas de solo (0-0,10, 0,10-0,20, 0-20-0,40 m) (Tabela 7 e Figura 5). Parecido et al. (2021b) visualizaram resultados semelhantes, com incremento de Mg^{2+} a partir da aplicação de calcário nas duas doses estudadas (2100 e 4200 kg ha^{-1}) em ambos os locais de aplicação, em todo perfil avaliado sob o dossel das plantas de cafeeiro. Já na entrelinha, os maiores teores foram observados para a aplicação de CD+G-T, em todas as camadas com influência significativa dos tratamentos (Figura 5). Neste caso, vale ressaltar que neste tratamento foi aplicado uma maior dose de calcário, fonte de Mg^{2+} , por m^2 na região avaliada.

Figura 5 - Ca^{2+} , Mg^{2+} e V, na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total

Os efeitos da calagem e gessagem nos teores de $H+Al$, Ca^{2+} e Mg^{2+} refletiram na saturação por bases (V%) do solo (Tabela 7). Na projeção da copa, os valores de V% tiveram incremento nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, especialmente no tratamento com o CD+G-F. Na camada mais profunda 0,60–0,80 m a aplicação do CR-F, e os tratamentos associados ao gesso aplicados também em faixa, incrementaram os valores de V% em relação ao controle (Figura 5). Já na entrelinha, os tratamentos em área total (CD+G-F e CD+G-T), proporcionaram maiores valores de V% na camada superficial do solo (0–0,10 e 0,10-0,20 m). Nas demais camadas a aplicação do CD+G-T, teve destaque com os maiores valores de V% (Figura 5). O incremento nas camadas mais profundas, pela associação dos insumos, se dá pela movimentação do Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo (PARECIDO, 2020). Na camada superficial (0–0,10 m) observa-se que todos os tratamentos, exceto o controle e a aplicação isolada de gesso, elevaram a V% a níveis recomendados a cultura.

4.2 Resistência do solo a penetração (RP)

Os resultados de resistência do solo a penetração (RP) em função da aplicação de calcário e gesso estão apresentados na Tabela 8. Foi observada diferença entre os tratamentos apenas na camada de 0–0,10 m, na projeção da copa das plantas (Tabela 8). Nesta camada, o tratamento com aplicação de G-F proporcionou maior RP, com valor de 3,33 Mpa. Os menores valores de RP foram observados naqueles tratamentos com a aplicação de calcário (Tabela 9).

Tabela 8 - Probabilidade de F para os resultados de resistência do solo a penetração, na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80 m, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Profundidade	Projeção da copa	Entrelinha
0,00–0,10 m	<0,001	0,308
0,10–0,20 m	0,080	0,178
0,20–0,40 m	0,085	0,496
0,40–0,60 m	0,116	0,072
0,60–0,80 m	0,467	0,936

Tabela 9 - Resistência do solo a penetração, na projeção da copa e entrelinha do cafeeiro, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60, 0,60–0,80 m, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Projeção da copa	Entrelinha
	Mpa	
	0,0–0,10 m	
Controle ⁽²⁾	2,70 ab ⁽¹⁾	2,03 a
CR-F	2,01 b	1,81 a
CD-F	1,85 b	2,61 a
G-F	3,33 a	2,01 a
CR+G-F	2,10 b	1,96 a
CD+G-F	2,10 b	1,98 a
CD-T	1,92 b	2,14 a
CD+G-T	2,68 ab	1,81 a
	0,10–0,20 m	
Controle	4,48 a	3,26 a
CR-F	4,10 a	3,15 a
CD-F	2,74 a	3,42 a
G-F	3,91 a	2,54 a
CR+G-F	3,11 a	3,09 a
CD+G-F	3,88 a	2,84 a
CD-T	3,58 a	2,94 a
CD+G-T	3,28 a	2,66 a
	0,20–0,40 m	
Controle	3,48 a	2,83 a
CR-F	4,42 a	2,44 a
CD-F	3,28 a	2,22 a
G-F	3,19 a	2,07 a
CR+G-F	2,76 a	2,74 a
CD+G-F	3,30 a	1,96 a
CD-T	3,78 a	2,27 a
CD+G-T	3,80 a	2,54 a
	0,40–0,60 m	
Controle	3,09 a	1,78 a
CR-F	3,99 a	1,59 a
CD-F	3,23 a	1,57 a
G-F	2,99 a	1,45 a
CR+G-F	2,69 a	1,96 a
CD+G-F	2,58 a	1,51 a
CD-T	2,92 a	1,56 a
CD+G-T	2,95 a	2,18 a
	0,60–0,80 m	
Controle	1,83 a	1,32 a
CR-F	2,41 a	1,25 a
CD-F	1,91 a	1,20 a
G-F	1,50 a	1,22 a
CR+G-F	1,55 a	1,21 a
CD+G-F	1,64 a	1,19 a
CD-T	1,69 a	1,06 a
CD+G-T	1,63 a	1,30 a

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total. Umidade gravimétrica do solo, no dia da avaliação: Projeção da copa: 0 – 0,10 m (5,0%); 0,10 – 0,20 m (7,9%); 0,20 – 0,40 m (10,7%); 0,40 – 0,60 m (9,9%); 0,60 – 0,80 m (10,8%). : Entrelinha: 0 – 0,10 m (9,7%); 0,10 – 0,20 m (11,7%); 0,20 – 0,40 m (11,4%); 0,40 – 0,60 m (12,7%); 0,60 – 0,80 m (13,3%).

A projeção da copa do cafeeiro, por ser o local onde passa o rodado do trator, que é utilizado em muitas práticas na cultura, apresentou no geral maior RP do que a entrelinha. Foram observados maiores índices de RP nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, nos dois locais avaliados (Tabela 9). Palma et al. (2013) em estudo da RP em lavouras cafeeiras cultivadas em sistema mecanizado e manual observaram maiores valores na camada de 0,15-0,25 m tanto na projeção da copa como entrelinha das plantas. Já Carvalho (2012) encontrou maiores valores de resistência do solo a penetração na camada de solo entre 0,30 e 0,50 m de profundidade, em estudo da variabilidade espacial de atributos físicos do solo na cultura do café.

Visto a diferença apenas na camada 0–0,10 m, na projeção da copa, considera-se que o sistema radicular das plantas enfrentou as mesmas condições de RP em todos os tratamentos. Uma vez que, apesar dos índices de RP estarem consideravelmente altos, não chegaram à faixa crítica de restrição ao crescimento radicular para solos arenosos (SENE et al., 1985).

4.3 Distribuição do sistema radicular do cafeeiro

Avaliando a distribuição do sistema radicular sob a aplicação de calcário e gesso, observa-se diferença entre os tratamentos estudados (Tabela 10).

Tabela 10 - Probabilidade de F para os resultados de comprimento radicular, diâmetro médio, área superficial e matéria seca de raiz em amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,00-0,10 a 0,60-0,80 m, e o total em profundidade em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Profundidade	0,5 m do tronco	1,0 m do tronco	1,5 m do tronco
Comprimento radicular			
0,00–0,10 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,10–0,20 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,20–0,40 m	0,058	<0,00	<0,001
0,40–0,60 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,60–0,80 m	0,066	<0,001	<0,001
Diâmetro médio radicular			
0,00–0,10 m	0,720	<0,001	<0,001
0,10–0,20 m	0,403	<0,001	<0,001
0,20–0,40 m	0,159	<0,001	<0,001
0,40–0,60 m	0,571	<0,001	<0,001
0,60–0,80 m	0,194	0,177	<0,001
Área superficial das raízes			
0,00–0,10 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,10–0,20 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,20–0,40 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,40–0,60 m	0,003	<0,001	<0,001
0,60–0,80 m	0,005	<0,001	<0,001
Matéria seca de raiz			
0,00–0,10 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,10–0,20 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,20–0,40 m	0,005	<0,001	<0,001
0,40–0,60 m	<0,001	<0,001	<0,001
0,60–0,80 m	0,003	<0,001	<0,001

O comprimento radicular foi influenciado pelos tratamentos, na camada de 0-0,10 m, nas três distâncias avaliadas, quando foi realizada a aplicação do CD+G-F (Tabelas 10 e 11). O mesmo foi observado a 1,0 e 1,5 m do tronco na camada de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Para a camada de 0,40-0,60 m, a 0,5 m do tronco da planta, o maior comprimento com a aplicação CD+G-F, a 1,0 m com a aplicação de CD+G-T e a 1,5 m com o dobro CD-F. Na camada de 0,60-0,80 m, observa-se que a calagem no dobro da dose associada ao gesso teve maior comprimento radicular na distância de 1,0 m do tronco, enquanto a 1,5 m do tronco esse incremento foi observado na calagem na dose recomendada em faixa.

De maneira geral, o CD+G-F proporcionou maiores comprimentos na maioria das camadas e distâncias avaliadas (Tabela 11). Este mesmo tratamento apresentou maiores teores de Ca^{2+} ao longo do perfil, na projeção da copa das plantas (Figura 5). Tal resultado, colabora para o entendimento da relevância do Ca^{2+} para o

desenvolvimento das raízes, uma vez que a presença desse elemento assegura a integridade da parede celular (RAIJ, 2008).

Observa-se que a maior concentração do sistema radicular das plantas de cafeeiro se encontrava sob a projeção da copa, principalmente nas distâncias de 0,25 e 0,50 m para a entrelinha (Figura 6, 7, 8, 9). Esse comportamento é observado na cultura, que apresenta maior concentração do sistema radicular sob o dossel, próximo ao tronco, reduzindo de forma gradativa em profundidade (RENA; GUIMARÃES, 2000). Esse comportamento também foi observado por Covre et al. (2015), em estudo avaliando a distribuição do sistema radicular do café conilon irrigado e não irrigado, evidenciando que as adubações normalmente realizadas sob a projeção da copa (aproximadamente 1,0 m do tronco) poderiam ser realizadas em maior proximidade da planta, devido a maior concentração de raízes. Avaliando a distribuição radicular em café sombreado em comparação com a pleno sol, Padovan et al. (2015) observaram que a maioria das raízes, em ambos, se concentraram nos primeiros 30 cm de profundidade, com 56,9% de raízes finas no sistema a pleno sol. Covre et al. (2015), apontam que a baixa fertilidade nas camadas mais profundas do solo, pode ser um fator limitante para o desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro no Brasil. Já Silva et al. (2016), em estudo da distribuição espacial radicular do cafeeiro em diferentes anos após plantio, em manejo conservacionista, observaram que o sistema radicular alcançou até 0,70 m no sentido da entrelinha.

A distribuição espacial do comprimento das raízes evidencia que os maiores valores ($>4000 \text{ cm dm}^{-3}$) foram observados nas camadas superficiais do solo, na distância mais próxima da planta (0,25 m) (Figura 6). A aplicação do CD+G-F, tratamento com maior destaque nessa variável na maioria das camadas e distâncias avaliadas, proporcionou maior distribuição ao longo do perfil, com aproximadamente 42% do comprimento radicular amostrado situado na camada superficial de 0–0,10 m, com raízes de 500 a 1000 cm dm^{-3} até próximo a 1,25 m do tronco da planta para a entrelinha (Tabela 11; Figura 6F). Outro fato interessante, é que os maiores comprimentos nesse tratamento foram encontrados a 0,50 m da planta (0–0,10 m), enquanto nos demais a 0,25 m do tronco da planta. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato do ponto de amostragem a 0,50 m do tronco se encontrar a faixa de adubação da cultura.

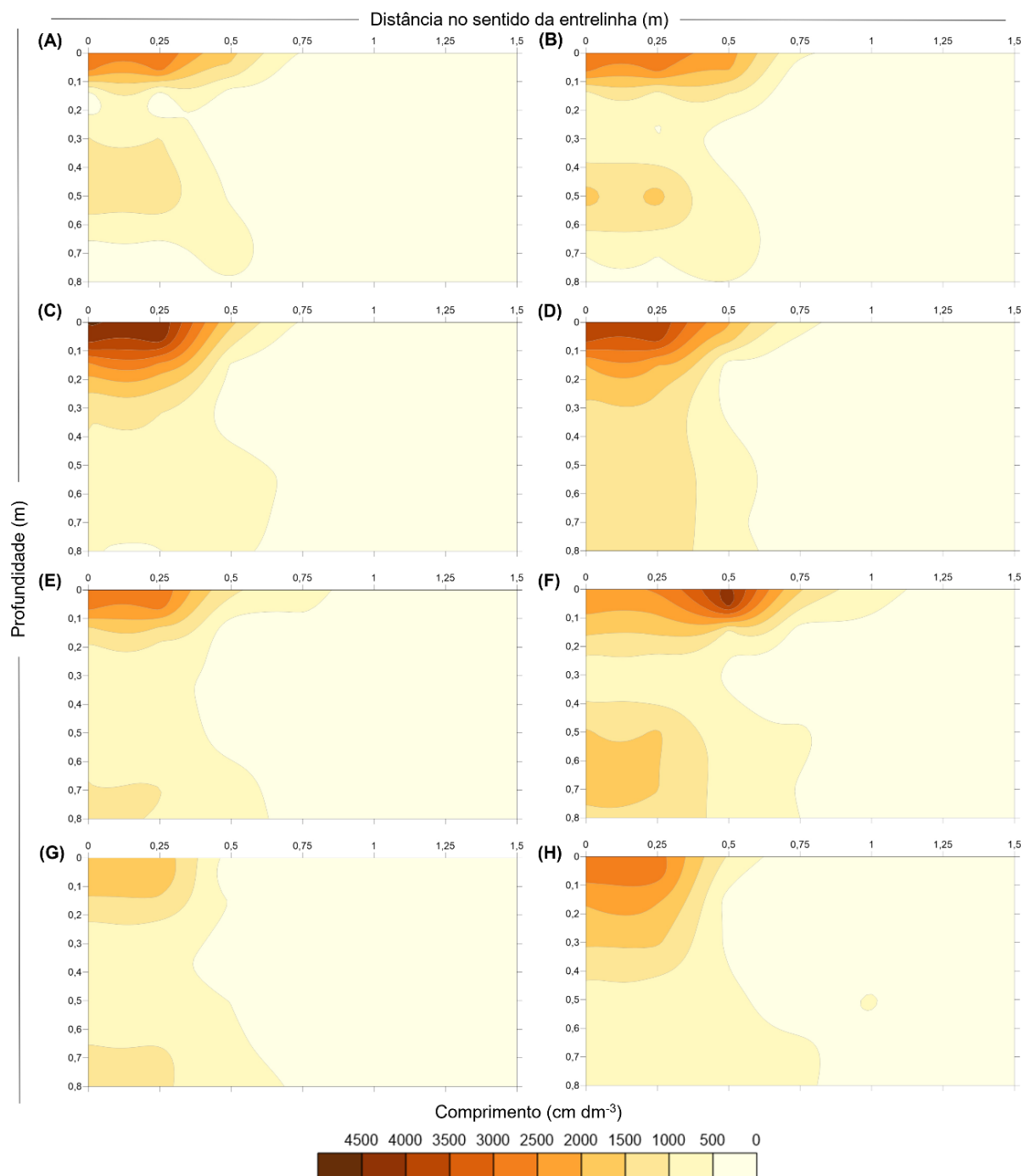
Tabela 11 - Comprimento radicular (cm dm⁻³) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	0,5 m do tronco	1,0 m do tronco	1,5 m do tronco
0,0–0,10 m			
Controle ⁽²⁾	1416,5b ⁽¹⁾	204,9bc	0,0c
CR-F	2101,5b	342,7bc	48,0b
CD-F	1263,8b	0,0c	0,0c
G-F	1793,9b	61,7c	0,0c
CR+G-F	843,1b	44,7c	0,0c
CD+G-F	4293,8a	603,1a	72,8a
CD-T	141,8b	0,0c	0,0c
CD+G-T	741,7b	202,0bc	0,0c
0,10–0,20 m			
Controle	188,6c	0,0c	0,0b
CR-F	919,3a	28,3bc	0,0b
CD-F	440,3bc	50,2bc	0,0b
G-F	278,7c	42,6bc	0,0b
CR+G-F	121,4c	65,2b	0,0b
CD+G-F	806,3ab	361,8a	49,5a
CD-T	479,1abc	79,4b	0,0b
CD+G-T	322,3c	0,0b	0,0b
0,20–0,40 m			
Controle	173,3a	34,9b	14,5b
CR-F	264,4a	64,6b	3,9b
CD-F	255,6a	325,4a	10,6b
G-F	399,8a	54,4b	13,6b
CR+G-F	454,8a	21,1b	23,2b
CD+G-F	445,3a	373,5a	94,3a
CD-T	294,1a	14,5b	0,0b
CD+G-T	413,3a	13,2b	0,0b
0,40–0,60 m			
Controle	449,8bc	109,4c	74,2c
CR-F	615,9ab	350,6abc	183,0ab
CD-F	666,1ab	462,8ab	226,1a
G-F	742,0a	228,8bc	0,0d
CR+G-F	193,2c	89,4c	0,0d
CD+G-F	765,2a	321,6abc	205,2ab
CD-T	492,4ab	187,8bc	19,2d
CD+G-T	617,1ab	561,3a	178,2b
0,60–0,80 m			
Controle	683,9a	62,6c	0,0d
CR-F	641,9a	185,7abc	264,7a
CD-F	737,1a	234,5ab	96,0b
G-F	568,2a	273,1ab	87,9bc
CR+G-F	839,0a	166,0bc	13,7cd
CD+G-F	765,0a	305,4a	88,2bc
CD-T	606,1a	234,5ab	17,5bcd
CD+G-T	638,4a	272,8ab	269,5a

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna dentro de cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada

+ gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total

Figura 6 - Distribuição espacial do comprimento das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



(A) Controle: sem aplicação; (B) CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; (C) CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; (D) G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; (E) CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; (F) CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; (G) CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; (H) CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

O tratamento com o CD-T proporcionou menor comprimento no geral (<2000 cm dm³), sendo a maior concentração até 0,5 m do tronco (Tabela 11; Figura 6G). Na

aplicação dos tratamentos CD+G-T e CD+G-F, observou-se em profundidade (0,60-0,80 m), maior comprimento de raízes ao longo das distâncias da planta, possuindo raízes maiores de 500 cm dm^{-3} até pouco mais de 0,75 m da planta (Figura 6H).

Para a variável diâmetro médio radicular, foi observado efeito dos tratamentos nas distâncias de 1,0 e 1,5 do tronco, sendo que a 1,0 m a camada de 0,60-0,80 m não houve efeitos dos tratamentos (Tabela 10). Observam-se, de maneira geral, raízes de maior diâmetro na distância de 0,5 m do tronco da planta (Tabela 12). Na camada de 0-10 m, foi observado um incremento nessa variável com a aplicação de CR-F, sendo a 1,5 m do tronco similar ao CD+G-F. Já na camada de 0,10-0,20 m, a aplicação do CD+G-F proporcionou os maiores valores de diâmetro médio de raiz, em ambas as distâncias da planta. Na camada de 0,20-0,40 m e a 1,0 m do tronco, observa-se incremento no tratamento com o CD-F, já a 1,5 m do tronco o maior diâmetro foi observado com o tratamento CD+G-F, a mesma tendência é observada a 1,0 m na camada de 0,40-0,60 m, nessa camada, a 1,5 m observa-se que todos os tratamentos incrementaram os valores de diâmetro médio, exceto a aplicação G-F e a aplicação de CR+G-F, que não apresentaram raízes até esta distância. Na camada de 0-60-0,80 m, na distância de 1,5 observa-se maior diâmetro com a aplicação de do tratamento CD+G-T. É importante ressaltar que as raízes de menores diâmetros, no cafeeiro, são responsáveis pela maior parte da absorção de água e nutrientes, pelo fato de possuir maior permeabilidade de membrana (JESUS; CARVALHO; SOARES 2006). Já as raízes mais grossas (maior diâmetro), possuem as funções de sustentação, além de serem reservas de carboidratos (CADUCCI et al., 2015).

Os menores diâmetros médios de raízes foram observados nos tratamentos com CR+G-F (Figura 7E), CD-T (Figura 7G) e CD+G-T (Figura 7H). Raízes com diâmetro acima de 2 mm foram observadas na camada de 0-0,10 cm, a 0,25 cm de distância no sentido da entrelinha, para com a calagem isolada em faixa (CR-F e CD-F) (Figuras 7B; 7C). Na aplicação do CD+G-F (Figura 7F), observa-se raízes de diâmetro de 0,4 mm a 0,8 mm, até próximo 1,5 m do tronco. Os tratamentos que apresentaram menos distribuição, no geral, dessa variável foram CR+G-F e CD-T (Figuras 7E; 7G).

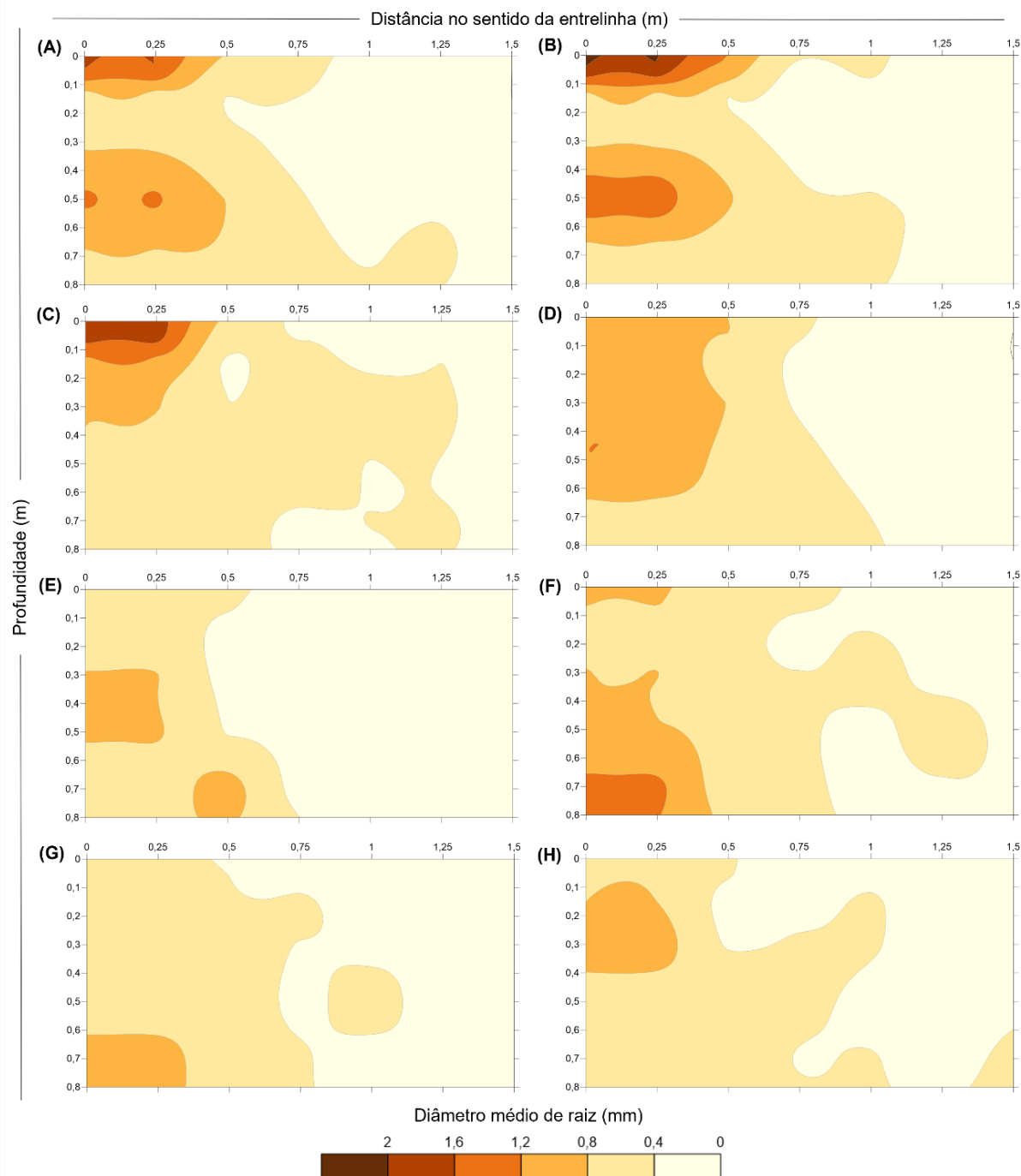
Tabela 12 - Diâmetro médio radicular (mm) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	0,5 m do tronco	1,0 m do tronco	1,5 m do tronco
0,0–0,10 m			
Controle ⁽²⁾	0,63a ⁽¹⁾	0,10cd	0,00b
CR-F	1,10a	0,50a	0,27a
CD-F	0,60a	0,00d	0,00b
G-F	0,83a	0,20bc	0,0b
CR+G-F	0,47a	0,20bc	0,00b
CD+G-F	0,73a	0,30b	0,27a
CD-T	0,40a	0,00cd	0,00b
CD+G-T	0,40a	0,20bc	0,00b
0,10–0,20 m			
Controle	0,40a	0,00d	0,00b
CR-F	0,40a	0,20c	0,00b
CD-F	0,30a	0,30b	0,00b
G-F	0,60a	0,20c	0,00b
CR+G-F	0,23a	0,30b	0,00b
CD+G-F	0,47a	0,40a	0,20a
CD-T	0,43a	0,27b	0,00b
CD+G-T	0,20a	0,00d	0,00b
0,20–0,40 m			
Controle	0,47a	0,20cd	0,20ab
CR-F	0,57a	0,13d	0,13b
CD-F	0,40a	0,70a	0,20ab
G-F	0,80a	0,30bcd	0,03c
CR+G-F	0,27a	0,20cd	0,20ab
CD+G-F	0,56a	0,60ab	0,23a
CD-T	0,50a	0,23cd	0,00c
CD+G-T	0,33a	0,47ab	0,00c
0,40–0,60 m			
Controle	0,77a	0,23b	0,23a
CR-F	0,83a	0,43ab	0,23a
CD-F	0,47a	0,33b	0,23a
G-F	0,63a	0,20b	0,00b
CR+G-F	0,40a	0,20b	0,00b
CD+G-F	0,67a	0,27b	0,30a
CD-T	0,73a	0,73a	0,23a
CD+G-T	0,73a	0,30b	0,30a
0,60–0,80 m			
Controle	0,77a	0,40a	0,00d
CR-F	0,57a	0,50a	0,20bcd
CD-F	0,50a	0,40a	0,37ab
G-F	0,67a	0,43a	0,13cd
CR+G-F	1,00a	0,27a	0,27bc
CD+G-F	0,57a	0,27a	0,37ab
CD-T	0,60a	0,20a	0,01cd
CD+G-T	0,70a	0,43a	0,50a

¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna dentro de cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada

+ gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

Figura 7 - Dribuição espacial do diâmetro médio das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



(A) Controle: sem aplicação; (B) CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; (C) CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; (D) G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; (E) CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; (F) CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; (G) CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; (H) CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

Para a área superficial, foi observado que nas camadas de solo de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, houve um incremento nas três distâncias, no tratamento com o

CD+G-F (Tabela 13). Já na camada de 0,40-0,60 m, na distância de 0,5 m, verifica-se que todos os tratamentos com aplicação de calcário e gesso, exceto o CR+G-F, tiveram incremento nessa variável. A 1,0 m do tronco observa-se que o CD-F, e o CD+G-T, apresentaram maior área superficial com 63,7 e 66,7 $\text{cm}^2 \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Para 1,5 m os maiores valores foram observados também com o CD-F e CD+G-F (Tabela 10). Na camada de 0,60-0,80 m, a 0,5 m do tronco, maior área superficial, foi observada para o CR+G-F, porém foi semelhante ao controle, ao CD-F e ao CD-T. A 1,0 m do tronco todos os tratamentos incrementaram os valores dessa variável em relação ao controle, que teve 6,8 $\text{cm}^2 \text{ dm}^{-3}$ de área superficial. E na distância de 1,5 m, a maior área foi obtida com o CD+G-T (Tabela 13). Observa-se que área superficial acima de 550 $\text{cm}^2 \text{ dm}^{-3}$, foi observada apenas nos tratamentos controle (Figura 8A), CD-F (Figura 8C) e G-F, com maior concentração na camada de 0 – 0,10 m (Figura 8D). O tratamento com melhor distribuição dessa variável no perfil do solo, foi observado com o G-F (Figura 8D) e CD-G-F (Figura 8F), com 110 a 220 $\text{cm}^2 \text{ dm}^{-3}$ de área superficial até próximo 1,0 m de distância do tronco do cafeeiro. Menor distribuição e valores de área superficial foi observado com a aplicação de CR+G-F (Figura 8E) e CD-T (Figura 8G).

Na camada de 0-0,10 m, observa-se que o tratamento CD+G-F proporcionou maior matéria seca a 0,5 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, e o CR-F, na distância de 1,0 m (Tabela 14). Na camada de 0,10-0,20 m, verifica-se que na distância de 0,5 m do tronco, a aplicação do CR-F e o G-F proporcionaram maior matéria seca. Já nas distâncias de 1,0 e 1,5 m, os maiores valores foram obtidos com o CD+G-F. Na camada de 0,20-0,40 m, em todas as distâncias, as maiores matérias secas encontradas foram com o CD+G-F. Para 0,40-0,60 m, os maiores valores foram obtidos com o G-F e o CD, em 0,5 do tronco, para CD-F e CD+G-F, em 1,0 m do tronco e CD-F, em 1,5 m do tronco. Para a camada de 0,60-0,80 m, a 0,5 m da planta, o CR+G-F proporcionou incremento nessa variável, juntamente com os demais tratamentos, exceto o G-F. A 1,0 m do tronco, todos os tratamentos incrementaram a matéria seca de raiz exceto o controle. E a 1,5 m o maior valor foi observado para o CD+G-F.

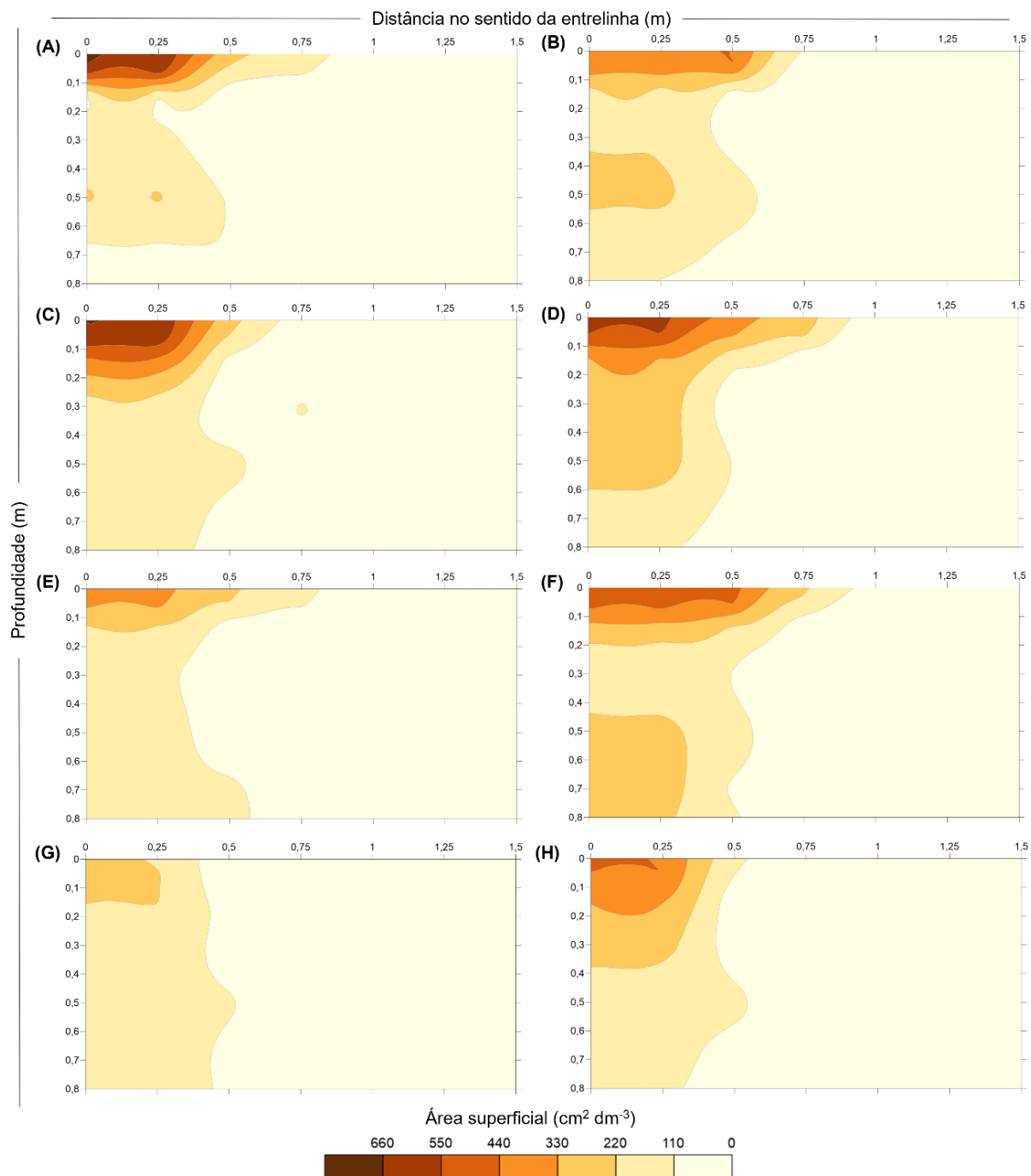
Tabela 13 - Área superficial (cm² dm⁻³) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	0,5 m do tronco	1,0 m do tronco	1,5 m do tronco
0,0–0,10 m			
Controle ⁽²⁾	201,1bc ⁽¹⁾	13,9b	0,0b
CR-F	444,0a	43,6a	0,3b
CD-F	219,6bc	0,0c	0,0b
G-F	367,3ab	3,2bc	0,0b
CR+G-F	217,8bc	3,4bc	0,0b
CD+G-F	456,3a	43,8a	11,5a
CD-T	18,3d	0,0c	0,0b
CD+G-T	114,4cd	14,1b	0,0b
0,10–0,20 m			
Controle	27,0c	0,0d	0,0b
CR-F	54,2c	1,7cd	0,0b
CD-F	66,3bc	4,9bc	0,0b
G-F	137,1ab	4,5bcd	0,0b
CR+G-F	23,4c	5,3bc	0,0c
CD+G-F	178,3a	22,4a	6,3a
CD-T	82,8bc	6,8b	0,0c
CD+G-T	47,2c	0,0d	0,0c
0,20–0,40 m			
Controle	32,0c	4,6b	1,6de
CR-F	73,4ab	9,2b	0,4e
CD-F	38,8bc	62,9a	3,9c
G-F	46,1bc	12,4b	5,9b
CR+G-F	74,4ab	2,5b	2,5cd
CD+G-F	108,3a	72,9a	9,2a
CD-T	77,2ab	2,1b	0,0e
CD+G-T	57,0bc	3,9b	0,0e
0,40–0,60 m			
Controle	102,9bc	17,8cd	15,0c
CR-F	154,4a	50,1abc	26,6ab
CD-F	135,1a	63,7a	35,8a
G-F	110,0bc	30,4bcd	0,0d
CR+G-F	25,8c	14,6d	0,0d
CD+G-F	141,3a	27,7bcd	35,9a
CD-T	118,5a	52,8ab	3,0d
CD+G-T	135,5a	66,7a	21,0bc
0,60–0,80 m			
Controle	101,4ab	6,8b	0,0d
CR-F	84,0b	29,3a	13,9c
CD-F	76,7b	30,0a	15,3c
G-F	79,9b	34,8a	18,4c
CR+G-F	132,6a	27,9a	2,2d
CD+G-F	97,1ab	39,6a	43,4b
CD-T	88,8ab	34,3a	1,0d
CD+G-T	65,0b	37,4a	59,9a

¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna dentro de cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ²⁾Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada

+ gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

Figura 8 - Distribuição espacial da área superficial das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



(A) Controle: sem aplicação; (B) CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; (C) CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; (D) G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; (E) CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; (F) CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; (G) CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; (H) CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

Tabela 14 - Matéria seca de raiz (mg dm³) de amostras coletadas a 0,5, 1,0 e 1,5 m do tronco do cafeeiro, nas profundidades de 0,0-0,10 a 0,60-08 m, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

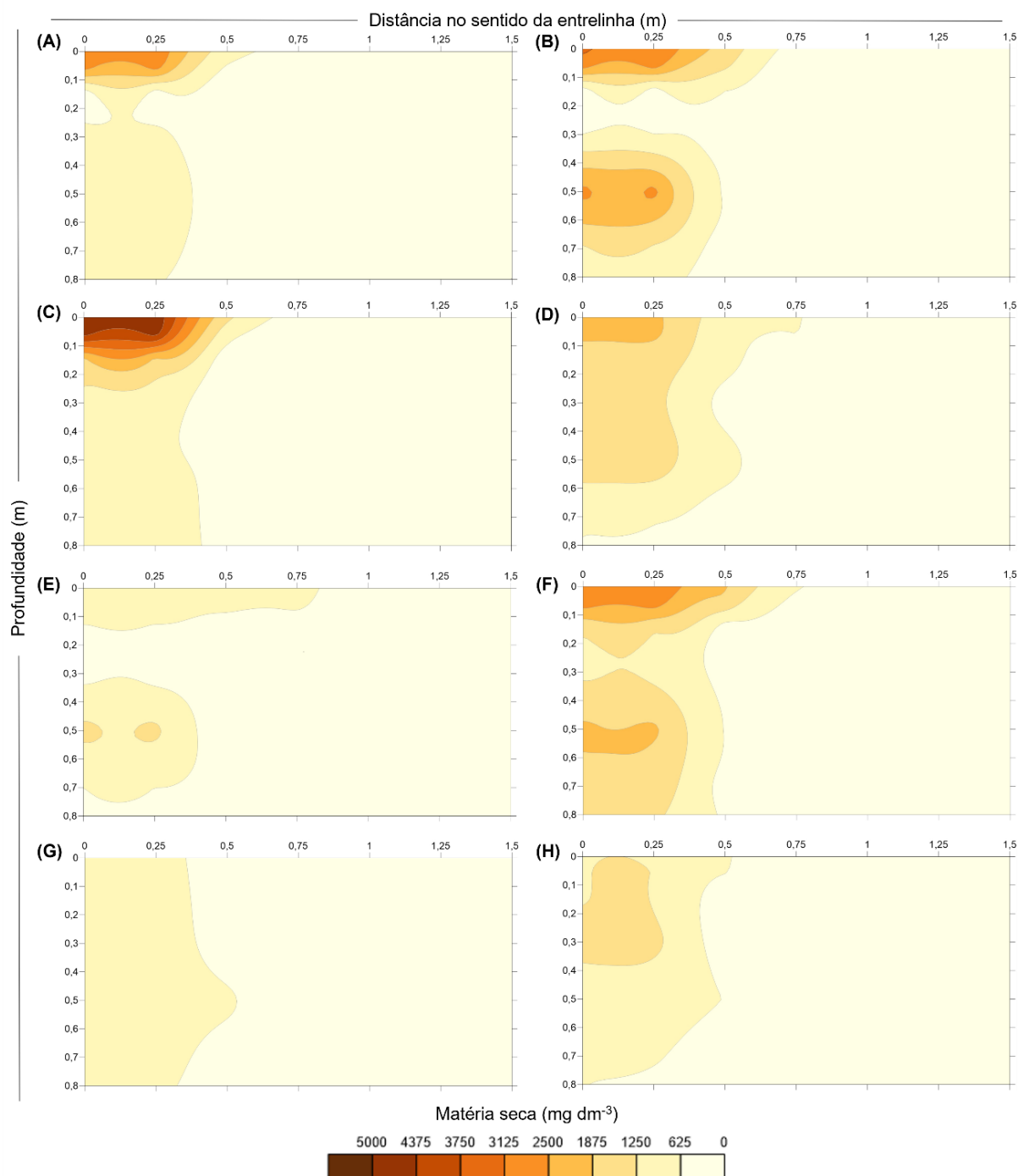
Tratamento	0,5 m do tronco	1,0 m do tronco	1,5 m do tronco
0,0-0,10 m			
Controle ⁽²⁾	595,8bc ⁽¹⁾	48,6c	0,0c
CR-F	1431,7ab	223,0a	15,5b
CD-F	960,5ab	0,0e	0,0c
G-F	757,7bc	29,1cd	0,0c
CR+G-F	907,3b	13,8de	0,0c
CD+G-F	1770,6a	154,8b	22,7 ^a
CD-T	37,2c	0,0e	0,0c
CD+G-T	677,8bc	53,1c	0,0c
0,10-0,20 m			
Controle	67,2b	0,0b	0,0b
CR-F	613,2a	4,3b	0,0b
CD-F	222,2b	15,4b	0,0b
G-F	869,2a	10,1b	0,0b
CR+G-F	120,0b	12,7b	0,0b
CD+G-F	254,2b	39,9a	15,6 ^a
CD-T	191,0b	16,5b	0,0b
CD+G-T	148,4b	0,0b	0,0b
0,20-0,40 m			
Controle	214,6b	12,3c	4,2cd
CR-F	278,0ab	21,9c	0,4d
CD-F	181,5b	196,9a	0,7d
G-F	357,9ab	44,7c	16,7b
CR+G-F	277,8ab	5,0c	8,9c
CD+G-F	426,0a	243,4a	66,2a
CD-T	269,4ab	12,0c	0,0d
CD+G-T	325,7ab	100,1b	0,0d
0,40-0,60 m			
Controle	264,2bc	36,5d	38,5c
CR-F	551,5abc	160,0abcd	61,9bc
CD-F	512,1abc	301,6a	91,5a
G-F	842,1a	111,2bcd	0,0d
CR+G-F	227,3c	80,7cd	0,0d
CD+G-F	596,2abc	304,9a	60,6bc
CD-T	731,4a	276,2ab	6,5d
CD+G-T	615,8ab	228,2abc	88,7ab
0,60-0,80 m			
Controle	312,9ab	17,0b	0,0c
CR-F	295,6ab	82,9a	76,4a
CD-F	323,3abc	116,1a	44,8b
G-F	286,6c	100,2a	47,6b
CR+G-F	418,6a	88,2a	6,7c
CD+G-F	391,4ab	119,5a	54,4ab
CD-T	343,6abc	106,9a	12,1c
CD+G-T	305,5ab	99,8a	65,4ab

¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna dentro de cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ²⁾Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada

+ gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

A distribuição espacial da matéria seca de raiz no perfil do solo se apresentou bastante distinta entre os tratamentos. Os maiores valores ($>4375 \text{ mg dm}^{-3}$), foram observados no tratamento com o CD-F, próximo ao tronco da planta (Figura 8C). Menores matérias secas foram observadas nos tratamentos com CR+G-F (Figura 8E), e nos tratamentos com a aplicação realizada em área total (Figuras 8G e 8H). O tratamento sem aplicação dos insumos também apresentou baixa distribuição da matéria seca de raízes no perfil, com maior concentração até 0,25 m no sentido da entrelinha. O CD+G-F apresentou distribuição regular até 0,75 m da planta, enquanto nos demais a distribuição não teve regularidade.

Figura 9 - Distribuição espacial da matéria seca das raízes de cafeeiro arabica, em função da aplicação de doses e formas de aplicação de calcário e gesso



Por meio da análise de correlação (Tabelas 15 e 16), pode-se analisar a interação entre a presença de raízes e os teores de Ca^{2+} e Al^{3+} no solo da projeção da copa e entrelinha, representados pelas distâncias de 0,50 e 1,5 m da planta. Com relação aos teores de Ca^{2+} do solo, observa-se correlação positiva com as

características de crescimento radicular (Tabela 15), ou seja, a medida que o teor de Ca^{2+} aumenta, no solo, há um incremento no crescimento das raízes no mesmo local. A correlação positiva das variáveis na projeção da copa foi observada para comprimento de raízes nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, para área superficial das raízes nas camadas de 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m e para matéria seca de raiz nas camadas de 0-0,10 m e 0,20-0,40 m. Já na entrelinha as correlações foram observadas nas camadas de 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, que foram as mesmas camadas que apresentaram presença de raízes, na maioria dos tratamentos, a 1,5 m da planta. Tal resultado confirma a importância da disponibilidade de Ca^{2+} para o desenvolvimento do sistema radicular, sendo que no presente trabalho os maiores incrementos nas variáveis de crescimento radicular foram observados com a calagem no dobro da dose + gesso, aplicada em faixa. Essa proporcionou maiores teores de Ca^{2+} , no perfil do solo, na projeção da copa das plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Prado e Natale (2004), estudando a calagem na nutrição de Ca e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira.

Tabela 15 - Coeficientes de correlação de Pearson para comprimento de raiz (C), diâmetro médio (DM), área superficial (AS) e matéria seca (MS) com os teores de Ca^{2+} no perfil do solo, em projeção da copa e entrelinha, representados pelas distâncias de 0,50 e 1,50 m, respectivamente.

Profundidade	Projeção da copa ou				Entrelinha			
	C	DM	AS	MS	C	DM	AS	MS
0,00–0,10 m	0,57**	-0,04 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,46*	-0,21 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
0,10–0,20 m	0,43*	0,08 ^{ns}	0,65**	-0,19 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,16 ^{ns}
0,20–0,40 m	0,48*	0,12 ^{ns}	0,71**	0,64**	-0,28 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,23 ^{ns}
0,40–0,60 m	-0,07 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,42*	0,49*	0,36 ^{ns}	0,55**
0,60–0,80 m	-0,16 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,79**	0,75**	0,29 ^{ns}

Com relação aos teores de Al^{3+} do solo, observa-se correlação negativa com o crescimento radicular (Tabela 16), o que significa que enquanto o teor de Al^{3+} aumenta, há uma redução no crescimento das raízes. A correção significativamente negativa foi observada para o crescimento radicular nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,40, e 0,60-0,80 m, para área superficial das raízes na camada de 0,20-0,40 m e para matéria seca na camada 0,60-0,80 m, na projeção da copa. Já na entrelinha, a correlação foi existente para diâmetro médio e área superficial das raízes na camada de 0,60-0,80 m.

Tabela 16 - Coeficientes de correlação de Pearson para comprimento de raiz (C), diâmetro médio (DM), área superficial (AS) e matéria seca (MS), com projeção da copa e entrelinha, representados pelas distâncias de 0,50 e 1,50 m respectivamente, com os teores de Al^{3+} no perfil do solo nas mesmas distâncias

Profundidade	Projeção da copa				Entrelinha			
	C	DM	AS	MS	C	DM	SA	MS
0,00–0,10 m	-0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
0,10–0,20 m	-0,45*	0,09 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
0,20–0,40 m	-0,42*	0,21 ^{ns}	-0,42*	-0,18 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,36 ^{ns}
0,40–0,60 m	-0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,40 ^{ns}
0,60–0,80 m	-0,49*	-0,03 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,45*	-0,29 ^{ns}	-0,61**	-0,77**	-0,28 ^{ns}

A correlação negativa entre o Al^{3+} e características de crescimento radicular enfatiza a importância da correção do solo e da prática da gessagem para a redução do Al trocável, pois, o desenvolvimento das plantas está ligado a capacidade de exploração do solo pelas raízes e absorção de água e nutrientes. Assim, a limitação causada pelo Al^{3+} apresenta reflexos sobre a produtividade das culturas (TRACHSEL et al., 2010). O principal efeito do Al nas raízes é afetar o alongamento e a divisão celular, provocando o engrossamento, amarelamento, gerando raízes tortuosas, sem pelos absorventes (MIGUEL et al., 2010). Dessa forma, os mecanismos pelos quais o Ca alivia a toxicidade do alumínio na rizosfera envolvem uma diminuição da atividade do Al na membrana ou competição por sítios de ligação no apoplasto da raiz (KINRAIDE, 1994).

Avaliando de forma conjunta a distribuição do sistema radicular sob a aplicação de calcário e gesso, observa-se que o CD-F e CD-T apresentaram crescimento radicular na camada superficial (0–0,10 m) apenas até 0,5 m do tronco da planta, já a aplicação do CR+G-F e CD+G-F proporcionaram crescimento radicular até a distância de 1,50 m do tronco (Tabelas 10-14). Na camada de 0,10-0,20 m o controle e a aplicação de CD+G-T, tiveram crescimento radicular até 0,5 m de distância, já o CD+G-F foi o único tratamento com sistema radicular até 1,5 m. Na camada de 0,20-0,40 m o sistema radicular dos tratamentos aplicados em área total (CD-T e CD+G-T) chegaram apenas até 1,0 m do tronco da planta para a entrelinha. Na camada de 0,40-0,60 m os tratamentos com a aplicação de G-F e o CR+G-F tiveram crescimento radicular até 1,0 m do tronco. Em profundidade (camada de 0-60-0,80 m) todos os tratamentos tiveram crescimento radicular até 1,5 m da planta, exceto o controle que chegou apenas até 1,0 m. O crescimento radicular no sentido da entrelinha chegando até 1,5 m, e em profundidade (0,60-0,80 m), proporcionado pela aplicação dos

insumos, é fundamental para assegurar a absorção de água e nutrientes da solução do solo (CORRÊA et al., 2008).

4.4 Teores de nutrientes nas folhas

Com relação aos teores de macronutrientes nas folhas, observou-se efeito dos tratamentos apenas para o S (Tabela 17). Independentemente dos tratamentos, os teores foliares de N e P estavam dentro da faixa tida como adequada para o cafeeiro (RAIJ et al., 1997). Entretanto, ao avaliar os teores foliares de K, encontrou-se valores acima da faixa recomendada e os teores de Ca e Mg abaixo da faixa recomendada, também verificou que nos tratamentos controle, CR-F, CD-F e G-F, os teores de S estavam abaixo da faixa considerada adequada, enquanto nos demais tratamentos eles eram adequados. Vale ressaltar que, os insumos utilizados continham Ca, Mg, no caso do calcário, e S, quando aplicado gesso, porém, mesmo após a reaplicação dos tratamentos, a planta não conseguiu elevar os teores foliares desses nutrientes à níveis adequados. Já em relação aos níveis de K acima da faixa adequada, pode ser fruto de adubação potássica aplicada próximo a coleta das folhas, visto que os fertilizantes potássicos utilizados na cultura do café, como o cloreto de potássio, possuem alta solubilidade (OLIVEIRA; VILLAS BOAS, 2008), além de ter alta mobilidade na planta (TAIZ et al., 2017), podendo ter causado a elevação da concentração no tecido foliar, quando aplicado próximo a data de coleta.

O tratamento CD+G-F promoveu os maiores teores foliares de enxofre (S) (Tabelas 17). Tal efeito pode ter sido causado pela concentração do gesso na projeção da copa das plantas, já que o sistema radicular do cafeeiro está concentrado principalmente nesta faixa, ou seja, com a aplicação concentrada de gesso na região da copa da planta, houve uma maior percolação do gesso no perfil do solo pela sua característica de solubilidade em relação ao calcário (CAIRES et al., 1998) e consequentemente disponibilizou uma maior quantidade de enxofre para a planta, pois o gesso além disponibilizar enxofre, permite a presença do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo (DIAS et al., 1994).

Tabela 17 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na folha diagnose do café arábica, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Controle ⁽²⁾	28,8a ⁽¹⁾	1,3a	27,6a	8,7a	2,0a	0,9d
CR-F	30,6a	1,4a	27,6a	9,3a	2,1a	1,7ab
CD-F	30,8a	1,5a	27,5a	8,8a	2,4a	1,1cd
G-F	30,6a	1,3a	28,2a	9,6a	2,3a	1,1cd
CR+G-F	29,3a	1,1a	27,5a	8,5a	2,1a	1,5bc
CD+G-F	30,3a	1,3a	27,0a	9,5a	2,5a	2,0a
CD-T	31,3a	1,3a	28,4a	8,9a	2,4a	1,8ab
CD+G-T	30,5a	1,3a	28,4a	9,6a	2,3a	1,8ab
Pr>Fc	0,410	0,502	0,969	0,859	0,456	<0,001

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

Com relação aos micronutrientes, apenas o teor foliar de boro (B) não sofreu influência dos tratamentos estudados (Tabela 18). O tratamento CR-F incrementou os teores de Cu na folha do cafeeiro, sendo os menores teores obtidos com CD-T e com o CD-F. Os maiores teores foliares de Zn foram obtidos com a aplicação de CR-F, enquanto os menores teores foram verificados nos tratamentos G-F, CD+G-F, CD+G-F e CD-T. Para o Mn, a aplicação do CD+G-T incrementou os teores desse elemento nas folhas do cafeeiro. Com relação aos teores de Fe, o CR-F e o CD-F incrementaram os teores de Fe na folha diagnose (Tabela 18). Apesar de não terem sofrido influência dos tratamentos, os teores foliares de B estavam abaixo da faixa tida como adequada para o cafeeiro para o estudo. Os teores de Zn e os teores de Cu nos tratamentos do dobro da dose recomendada de calcário em faixa (CD-F) e em área total (CD-T), também estavam abaixo da faixa considerada adequada. Já os demais tratamentos para os teores de Zn, Mn e Fe estavam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do café, em todos os tratamentos (RAIJ et al., 1997). Os teores de micronutrientes abaixo do adequado pode ser explicado pela redução da disponibilidade dos micronutrientes catiônicos devido a elevação do pH, especialmente o Zn. Também pela falta do fornecimento via foliar desses elementos e as baixas concentrações, limitando a absorção pelas plantas.

Tabela 18 - Teores de micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe, B) na folha diagnose do café arábica, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	mg kg ⁻¹				
Controle ⁽²⁾	15,5ab ⁽¹⁾	22,0ab	101,0bcd	103,3ab	33,6a
CR-F	17,6a	29,0a	99,3cd	120,7a	36,4a
CD-F	9,87c	13,0bc	98,0cd	120,7a	33,7a
G-F	12,7bc	11,0c	114,7ab	86,4b	33,8a
CR+G-F	11,3c	8,0c	88,2d	59,0c	34,3a
CD+G-F	12,2bc	8,0c	102,6bcd	111,5a	37,0a
CD-T	9,2c	8,0c	103,6bc	53,0c	34,2a
CD+G-T	16,0ab	11,0c	120,8a	52,1c	32,3a
Pr>Fc	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,699

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

4.5 Altura de plantas e índice de área foliar (IAF)

A altura de plantas e índice de área foliar (IAF) do cafeeiro não foram influenciados significativamente pelos tratamentos estudados (Tabela 19). Não foi observado interferência da calagem e/ou gessagem na parte aérea da cultura em plena produção, provavelmente pelo fato de as plantas de café terem crescimento relativamente lento após atingirem a fase adulta. Por ser considerado uma árvore (MAESTRI; BARROS, 1977), espera-se que o cafeeiro tivesse comportamento padrão e suas estruturas vegetativas e reprodutivas tivessem o padrão de crescimento com o aumento da idade (PREZOTTI; BRAGANÇA, 2013).

Ainda, no período de condução foram observadas baixa precipitação e altas temperaturas, podendo ser elas responsáveis também pelo baixo crescimento vegetativo das plantas.

Tabela 19 - Altura e índice de área foliar (IAF) das plantas em que foram avaliadas o sistema radicular, em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Altura (m)	IAF (m ² m ⁻²)
Controle ⁽²⁾	1,95a ⁽¹⁾	3,08a
CR-F	1,97a	3,73a
CD-F	2,00a	3,00a
G-F	1,85a	3,79a
CR+G-F	1,81a	2,16a
CD+G-F	1,75a	2,27a
CD-T	1,79a	1,74a
CD+G-T	1,93a	2,30a
Pr>Fc	0,671	0,055

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

Verificando a igualdade da parte aérea das plantas, entre os tratamentos, pode-se inferir que o sistema radicular das mesmas possuía as mesmas condições relacionadas a esses parâmetros. Sabe-se que a parte aérea do cafeeiro está diretamente relacionada com o seu sistema radicular, sendo que alterações na parte da planta, como podas, carga alta de frutos e ataque de pragas e doenças, podem levar ao esgotamento de reservas do sistema radicular, levando a morte de raízes, especialmente aquela de menor diâmetro. Assim como, as raízes, devido às condições, podem fornecer fotoassimilados para a parte aérea, ou pode ser um importante dreno, quando em condições de seca (FERREIRA et al., 2019).

4.6 Produtividade de grãos

No ano de 2020, antes da reaplicação, todos os tratamentos apresentaram produtividades similares, uma vez que os efeitos da aplicação realizada em 2015 já haviam praticamente desaparecido (PARECIDO, 2020). Após a reaplicação, a produtividade do ano de 2021 sofreu influência dos tratamentos. A aplicação de CR-F proporcionou a maior produtividade de grãos, apesar de não diferir dos tratamentos CD-F, CR+G-F e CD+G-T e de não ter sido o tratamento que apresentou melhores atributos químicos do solo e distribuição radicular (Tabela 20).

Afirmações sobre a produtividade de apenas um ano na cultura, após a reaplicação da calagem e gessagem, podem levar a resultados precipitados e inconclusivos, pelo fato do cafeeiro ser uma cultura perene, com respostas fisiológicas

mais lentas, o que exige trabalhos a longo prazo para respostas mais consistentes. Ainda mais importante é a alternância bienal de produção, fator próprio da natureza fisiológica das plantas de cafeeiro, que necessita vegetar em um ano para produzir bem no ano seguinte (CARVALHO et al., 2004), considerando que o ano de 2021, foi um ano vegetativo, com carga baixa de frutos, a avaliação de mais de um ano de safra, se torna fundamental para verificar com maior acurácia os efeitos dos tratamentos aplicados, sobre o desenvolvimento do sistema radicular, com possível reflexo na produtividade do cafeeiro.

Tabela 20 - Produtividade de grãos beneficiados do café arábica, no ano de 2020 (antes da reaplicação dos tratamentos) e 2021 (após reaplicação), em função de doses e formas de aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Produtividade 2020	Produtividade 2021
	(kg ha ⁻¹)	
Controle ⁽²⁾	2693a ⁽¹⁾	360c
CR-F	3056a	717a
CD-F	3667a	505abc
G-F	2965a	403c
CR+G-F	2512a	509abc
CD+G-F	2822a	431c
CD-T	2582a	486bc
CD+G-T	2391a	691ab
Pr>Fc	0,128	<0,001

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾ Controle: sem aplicação; CR-F: Calcário dose recomendada, na faixa; CD-F: Calcário dobro da dose, na faixa; G-F: Gesso dose recomendada, na faixa; CR+G-F: Calcário dose recomendada + gesso, na faixa; CD+G-F: Calcário dobro da dose + gesso, na faixa; CD-T: Calcário dobro da dose, em área total; CD+G-T: Calcário dobro da dose + gesso, em área total.

5 CONCLUSÕES

A aplicação isolada do dobro da dose de calcário foi mais eficiente na correção da acidez do solo e fornecimento de Ca^{2+} , tanto na projeção da copa como na entrelinha, e melhorou a distribuição radicular do cafeeiro em profundidade.

A aplicação de gesso, especialmente em associação ao dobro da dose de calcário e aplicados em faixa, proporcionou melhorias nos atributos químicos do solo em profundidade, refletindo na distribuição do sistema radicular do cafeeiro também em profundidade.

A melhoria na distribuição radicular não refletiu de forma direta em melhor nutrição ou maior produtividade do cafeeiro, no primeiro ano após a reaplicação.

A aplicação do dobro da dose de calcário, associado ao gesso e aplicado em faixa, promoveu maior correção da acidez do solo e incremento de Ca^{2+} na projeção da copa das plantas, proporcionando maiores valores de comprimento, área superficial e matéria seca de raízes do cafeeiro, com melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Café**. Boletim Técnico IAC, Campinas, n. 200, p. 90-104, 2014.
- AMARAL, J. A. T.; LOPES, J. C.; AMARAL, J. F. T.; SARAIVA, S. H.; JESUS J. W. C. Crescimento vegetativo e produtividade de cafeeiros Conilon propagados por estacas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1624-1629, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600004>.
- AMARAL, J. F. T. **Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica**. 2002. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/461/175002f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- ANDRADE, O. C. S. **O manual da Cafeicultura: do plantio à pós colheita**. Lavras: Portal do Cafeicultor, 2020. 236 p.
- BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A.; PIRES, R. C. M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000400015>.
- BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V., V. H.; RUIZ, H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 320-326, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000300005>.
- BLUM, S. C.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 2, p. 279-300, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000024>.
- BORTOLUZZI, E. C.; PARIZE, G. L.; KORCHAGIN, J.; SILVA, V. R.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 262-271, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100026>.
- BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, A.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; RODRIGUES, V. A.; AMADO, M. C. C.; REIS, A. R. Long-Term Lime and Phosphogypsum Amended-Soils Alleviates the Field Drought Effects on Carbon and Antioxidative Metabolism of Maize by Improving Soil Fertility and Root Growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1-20, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.650296>.
- BOSSOLANI, J. W.; CRUSCIOL, C. A. C.; MERLOTI, L. F.; MORETTI, L. G.; COSTA, N. R.; TSAI, S. M.; KURAMAE, E. E. Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification

gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. **Geoderma**, v. 375, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114476>.

BOSSOLANI, J. W.; SANTOS, F. L.; MENEGHETTE, H. H. A.; SANCHES, I. R.; MORETTI L. G.; PARRA, L. F.; LAZARINI, E. Soybean in crop rotation with maize and palisade grass intercropping enhances the long-term effects of surface liming in no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 119-213, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00347-2>.

BRAINER, M. S. C. P. Panorama setorial do café. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 3, n. 48, p. 1-15, 2018.

CAFÉ. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, Brasília, DF, v. 6, N.1, p. 08-58, jan. 2021. Safra 2021, Terceiro Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 02 jan. 2021.

CAIRES, E. F. Gargalos tecnológicos para produção agrícola. In: FertBio, 2016, Goiânia-Go. **Palestras** [...] 2016. p. 1-28.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000100004>.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000100004>.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, L. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400025>.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 6, p. 1804-1814, 2011. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0192>.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1987-1995, 2018. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0642>.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L.; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 3, p. 270-278, mar. 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662014000300005>.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONO, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.015>.

CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Transferência do fator caturra para o cultivar Mundo Novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v. 31, p. 379-399, 1972. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051972000100031>.

CARVALHO, C. C. C. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agrônômicas da cultura do café**. 2012. Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2012.

CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café**. Brasília: EMBRAPA, 2007. 247p.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200007>.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. V. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v. 192, p. 37-48, 1997. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004285113189>.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Unicamp. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/Resenha/LResenhaLocal.asp>. Acesso em: 20 mar. de 2021.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 447-453, 1991.

CHURKA BLUM, S.; FÁVERO, C. E.; ALLEONI, L. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 2, p. 279-300, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000024>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 2, maio. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de café**, v. 6 - Safra 2019, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1- 62, janeiro 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 17 abr. 2020.

CORRÊA, J. B.; REIS, T. H. P.; POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, P. T. G.;

CARVALHO, J. G. Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros 'Catuaí Vermelho' (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 2, n. 2, p. 159-167, 2007.

CORREIA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; PERES, M. G. M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1583-1590, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400022>.

COSTA, B. P.; JÚNIOR, J. B. D.; MORAES REGO, C. A. R.; COSTA, A. C. T.; CARMO LANA, M. Uso do calcário e do gesso agrícola em duas épocas de implantação do *Coffea arabica* L. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p.241-247, 2020. Doi: <https://doi.org/10.21206/rbas.v10i1.9940>.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, v. 74, p. 119-132, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.001>.

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1006-1016, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100003>.

CRISTANCHO, R. J. A.; HANAFI, M. M.; SYED OMAR, S. R.; RAFII, M. Y. Aluminum speciation of amended acid tropical soil and its effects on plant root growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 6, p. 811-827, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.881856>.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARTIGIANI, A. C. C. A.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. F. 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.09.009>.

DEMATTE, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. In: Semana Agroindustrial, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP/ESALQ, 1986.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. H.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 373-380, 1994.

EFFGEN, T. A. M.; PASSOS, R. R.; LIMA, J. S. S.; BORGES, E. N.; DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F. Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro Conilon submetidas a diferentes tratamentos culturais no sul do estado do Espírito Santo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 2, p.7-18, 2008.

EMBRAPA. **Relatório de avaliações dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa: uso do gesso agrícola na cultura de soja em solos do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2016. Disponível em:

https://bs.sede.embrapa.br/2015/relatorios/cerrados_2015_gesso-soja.pdf. Acesso em: 18 abr. 2020.

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.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops 2018**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 05 de mar. 2020.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G. R. A. Comparison of Strategies for Ameliorating Subsoil Acidity I. Long-Term Growth Effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 646-651, 2000. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642646x>.

FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 769-773, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600005>.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FORNAZIER, M. J.; PREZOTTI, L. C.; FONSECA, A. F. A.; ALIXANDRE, F. T.; COSTA, H.; ROCHA, A. C.; MORELI, A. P.;

FERREIRA, D. F. Sisvar: Acomputer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, T.; SHULER, J.; GUIMARÃES, R.; FARAH, A. Introduction to Coffee Plant and Genetics, in Coffee: Production, Quality and Chemistry. **The Royal Society of Chemistry**, p. 1-25, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1039/9781782622437-00001>.

GOLDEN SOFTWARE, INC. **Surfer for windows**: realese 8.0, contouring and 3D surface mapping fors cientist's engineer's user's guide. New York: 2002. 714p.

GONÇALVES, J. R. P.; MOREIRA, A.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOAS, R. L. V. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 369-375, 2011. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.3659>.

GUARÇONI, A. Saturação por bases para o cafeeiro baseada no pH do solo e no suprimento de Ca e Mg. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 327-336, 2017.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; Cunha R. L. (eds.). **Café arábica**: do plantio à colheita. Lavras: Epamig. p. 343-414, 2010.

ICO - International Coffee Organization. **Monthly Coffee Market Report (2021/22)**. 2021. Disponível em: <https://www.ico.org/Market-Report-21-22-e.asp>. Acesso em: 16 abr. 2020.

INFORZATO, R.; REIS, A. J. Estudo comparativo do sistema radicular dos cafeeiros Bourbon Amarelo e Mundo Novo. **Bragantia**, v. 22, n. 59, p. 741-750, 1963. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051963000100067>.

JESUS, A. M. S.; CARVALHO, S. P.; SOARES, Â. M. Comparação entre sistemas radiculares de mudas de *Coffea arábica* L. obtidas por estaquia e por sementes. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 14-20, 2006.

KINRAIDE, T. B. Use of a Gouy-Chapman-Stern Model for Membrane-Surface Electrical Potential to Interpret Some Features of Mineral Rhizotoxicity. **Plant Physiology**, v. 106, n. 4, p. 1583-1592, 1994. Doi: <https://doi.org/10.1104/pp.106.4.1583>.

KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C.; SILVA, W. M. Eficiência relativa de frações de calcários Sul-Mato-Grossenses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1443-1449, 1999. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000800017>.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Campinas-SP, 3ª Ed., p. 83, 1996.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (coords). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. V. III CATI. Campinas: CATI, 1994. P.121-156. Manual Técnico, 40.

MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Coffee. In: ALVIM, P. T.; KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic, 1977. p. 249- 278.

MALAVOLTA, E.; FERNANDEZ, D. R.; CASALE, H.; ROMERO, J. P. Seja doutor do seu cafezal. **Informativo Agrônômico**, v. 64, p. 1-13, 1993.

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

MARTINS, D. M.; NOGUEIRA, N. O.; TOMAZ, M. A.; ANDRADE, F. V.; BRINATE, S. V. B.; REIS, E. F. Desenvolvimento inicial do café arábica em função de diferentes corretivos de acidez em um solo argiloso. In: VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. p. 1-5. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio6/252.pdf. Acesso em: 14 abr. 2020.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Cultura de Café no Brasil: Manual de recomendações**. São Paulo: Futurama/MAPA/PROCAFÉ, 2016. 585p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo manual de recomendações**.

São Paulo: Fundação Procafé, 2005.

MATIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; MEIRELES, P. G.; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 425-434, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100040>.

MESQUITA, C. M.; MELO, E. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, R. M.; ARAÚJO, W. G. Manual do café: Implantação de cafezais. **Emater-Mg**, p. 52, 2016. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/livro_implantacao_cafezais.pdf. Acesso em: 27 mar. 2020.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, n. 1, p. 13-29, 2010.

MOREIRA, M. A.; VIANA, A. E. S.; OLIVEIRA, C. A. C.; CARVALHO, G. S.; MELO FILHO, J. F.; SOUZA, S. E. Efeitos de calcário e gesso nas características químicas do solo e na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 2. 2001, Salvador. **Anais...** Brasília: Consórcio Pesquisa Café, 2001. p. 1-9. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/1120/155585_Art348f.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 abr. 2020.

MOTTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; SERRAT, B. M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 455-463, 2006. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.758>.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S. É. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal**, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012. Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-2945012000400041>.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; ROMUALDO L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Viabilidade econômica do uso do calcário na implantação de pomar de goiabeiras. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 708-713, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300025>.

NORA, D. D.; AMADO, T. J. C.; BORTOLOTO, R. P.; FERREIRA, A. O.; KELLER, C.; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

OLEGO, M. A.; VISCONTI, F.; QUIROGA, M. J.; DE PAZ, J. M.; GARZÓN-JIMENO, E. Assessing the effects of soil liming with dolomitic limestone and sugar foam on soil acidity, leaf nutrient contents, grape yield and must quality in a Mediterranean

vineyard. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, p. e1102, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016142-8406>.

OLIVEIRA, F. M. C.; BORGES, L. E. P.; MELO, E. B.; BARROS, M. L. S. C. Características mineralógicas e cristalográficas da gipsita o Araripe. **Holos**, v. 5, p. 71-82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2012.1140>.

OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; MOURA, C. S. F. T. Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. **Revista Faculdade Montes Belos**, p. 17-32, 2012.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 95-103, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000100010>.

PADOVAN, M. P.; CORTEZ, V. J.; NAVARRETE, L. F.; NAVARRETE, E. D.; DEFFNER, A. C.; CENTENO, L. G.; MUNGUÍA, R.; BARRIOS, M.; VÍLCHEZ-MENDOZA, J.S.; VEJA-JARQUÍN, C.; COSTA, A. N.; BROOK, R. M.; RAPIDEL, B. Root distribution and water use in coffee shaded with *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agroforestry Systems**, v. 89, p. 857-868, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9820-z>.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C.; SOUZA, P.; SILVA, J. A. Resistência do solo à penetração em cafezais cultivados com sistema mecanizado e manual. **Coffee Science**, v. 8, p. 364-370, 2013.

PARECIDO, R. J. **Nutrição e produtividade da cultura do café arábica afetadas pela forma de aplicação de calcário e gesso na cultura já implantada**. 2020. 143 p. Tese (Tese em Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

PARECIDO, R. J.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; GITARI, H. I.; DOGNANI, V.; SANTOS, A. R.; SILVEIRA, L. Liming method and rate effects on soil acidity and arabica coffee nutrition, growth, and yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, p. 2613-2625, 2021a. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00550-9>.

PARECIDO, R. J.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GOMES, G. G.; PAULA, R. A.; GITARI, H. I. Limestone increased coffee yield and profitability more than phosphogypsum or their combination. **Agronomy Journal**, v. 113, p. 3586-3599, 2021b. Doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20712>.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo de aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200014>.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p. 1293-1302, p. 1982.

PINTO, M. M. **Avaliação da Implantação de Cobertura Vegetal em uma Pilha de Fosfogesso**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PRADO, R. M.; NATALE, W. A calagem na nutrição e no desenvolvimento do sistema radical da caramboleira. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 3, n. 1, p. 3-8, 2004.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 1007-1012, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000008>.

PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M.; MARTINS, A. G.; LANI, J. A. Calagem e adubação. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. 1 ed. Vitória: INCAPER, 2007. cap. 12, p. 328-343.

PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M. Acúmulo de massa seca, N, P e K em diferentes materiais genéticos de café conilon. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 284-294, 2013.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Informações agronômicas N° 122. p. 26-27, 2008.

RAIJ, B. V. **Otimização da produção**. Informações agronômicas N° 117, p. 14-15, 2007.

RAIJ, B. V.; COSTA, W. M.; IGUE, T.; SERRA, J. R. M.; GUERREIRO, G. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, v. 55, p. 347-355, 1996.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101 (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M. D.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1018-1026, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400019>.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018-

1026, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400019>.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500023>.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimphysica**, v. 4, p. 1-6, 1972.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que influenciam**. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, 2000.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: Epamig, 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 Ciencia do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1723-1736, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20150036>.

RODRIGUES, J. C.; CARMO, D. L.; NANNETTI, D. C.; MARQUES, H.; PEREIRA, R. A. Relação Ca/Mg no solo e produtividade do cafeeiro em função de elevadas doses de gesso agrícola. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Curitiba. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2015. p. 1-5. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3583/78_IX-SPCB-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 jul. 2020.

RODRIGUES, L. A.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVEZ, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, S. M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. **Plant and Soil**, n. 234, p. 207-214, 2001.

ROGERS, E. D.; BENFEY, P. N. Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 32, p. 93-98, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.11.015>.

SA, M. V. C.; BOYD, C. E. Variability in the solubility of agricultural limestone from different sources and its pertinence for aquaculture. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 8, p. 4292-4299, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1111/are.13250>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 356p.

SCHIMIDT FILHO, E.; GASPAROTTO, F.; TANIMOTO, S.; RAMARI, T. O. L.; ZANETTI, M. A. Influência de diferentes doses de gesso agrícola sobre a produtividade da cultura do trigo (*Triticum sativum* L.). **Revista da Universidade**

Vale do Rio Verde, v. 14, n. 2, p. 442-449, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v14i2.2700>.

SENE, M.; VEPRASKAS, M. J.; NADERMAN, G. C.; DENTRON, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 2, p. 422-427, 1985. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900020030x>.

SILVA, C. A.; MELO, L. C. A.; RANGEL, O. J. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Produtividade do cafeeiro e atributos de fertilidade de latossolo sob influência de adensamento da lavoura e manejo da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 1066-1076, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500014>.

SILVA, É. A.; SILVA, S. H. G.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E. Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 4970-4978, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11356>.

SINGH, B. Are nitrogen fertilizers deleterious to soil health? **Agronomy**, v. 8, n. 48, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomia8040048>.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200022>.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; VITTI, G.C. Reactivity of sedimentary and metamorphic limestones of different particle sizes under controlled conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 4, p. 464-473, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1566920>.

SOUZA, D. M. G. S.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.

SOUZA, J. M. **Caracterização do sistema radicular do cafeeiro conilon sob irrigação localizada**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2017.

STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L.A.C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p.774-782, 2014.

STOLF, R. **Operação do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR., 1984. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n.2).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **The Journal of Ecology**, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975.

TRACHSEL, S.; STAMP, P.; HUND, A. Effect of high temperatures, drought and aluminum toxicity on root growth of tropical maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Maydica**, v. 55, n. 3/4, p. 249-260, 2010.

VITTI, G. C. Enxofre no solo. In: Simposio sobre interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação, 1., 1988, Botucatu, **Anais...** Botucatu: FCA-UNESP/FEPAF/ANDA/POTAFOS, 1988. 39p.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba, 2008.

VOLSI, B.; TELLES, T. S.; CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G. The dynamics of coffee production in Brazil. **Plos One**, v. 14, n. 7, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 128-137, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4530301>.