

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO
JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM**

VINÍCIUS TEIXEIRA LEMOS

**APLICAÇÃO DO ÁCIDO CÍTRICO NA PRODUÇÃO
DE MUDAS, NO CRESCIMENTO, ESTADO
NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE CAFÉ
ARÁBICA**

**DIAMANTINA - MG
2012**

VINÍCIUS TEIXEIRA LEMOS

**APLICAÇÃO DO ÁCIDO CÍTRICO NA
PRODUÇÃO DE MUDAS, NO CRESCIMENTO,
ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE
DE CAFÉ ARÁBICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof^o. Dr. André Cabral França

**DIAMANTINA - MG
2012**

Ficha Catalográfica
Preparada pelo Serviço de Biblioteca/UFVJM
Bibliotecária: Ieda Maria Silva – CRB-6ª nº 1251

L557a
2012

Lemos, Vinícius Teixeira

Aplicação do ácido cítrico na produção de mudas, no crescimento, estado nutricional e produtividade de café arábica./Vinícius Teixeira Lemos. - Diamantina: UFVJM, 2012.

58 p.

Dissertação (Mestrado/Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/Faculdade de Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. André Cabral França

Co-orientadores: Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

Pesq. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho

1. Ácidos orgânicos. 2. *Coffea arabica*. 3. Qualidade de mudas. 4. Nutrição de plantas. I. França, André Cabral. II. Silva, Enilson de Barros. III. Carvalho, Gladyston Rodrigues. IV. Título.

CDD: 633.73

**APLICAÇÃO DO ÁCIDO CÍTRICO NA PRODUÇÃO DE MUDAS, NO
CRESCIMENTO, ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE
CAFÉ ARÁBICA**

Vinícius Teixeira Lemos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, nível de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 13 / 02 / 2012



Pesq. Gladyston Rodrigues Carvalho – EPAMIG



Prof. Enilson de Barros Silva – UFVJM



Prof. André Cabral França – UFVJM
Presidente

DIAMANTINA
2012

OFEREÇO

Aos meus pais, Nilo (in memorian) e Antonieta, aos meus irmãos, Eliane, Fernando e Quinzinho, aos meus sobrinhos Geisy, Mell e Arthur (que está chegando), ao meu amor Otaviana, ao caro prof. Dr. André Cabral França, pela oportunidade, apoio e amizade para o desenvolvimento deste trabalho, e a todos os familiares e amigos, que sempre me apoiaram.

DEDICO

Primeiramente a Deus, pois, sem Ele não sou nada. Á Nossa Senhora da Conceição Aparecida, por me iluminar a cada dia de minha caminhada. A todos meus familiares pelo incentivo. A todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho, principalmente aos membros do NECAF-UFVJM, e aos iniciantes desse sonho: Alcinei, Bruno Antônio e Carlos Enrrik.

***"Campeões não são feitos em academias.
Campeões são feitos de algo que eles têm
profundamente dentro de si — um desejo,
um sonho, uma visão."
(Muhammad Ali)***

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro na execução deste trabalho e concessão de Bolsa de Estudo.

Ao professor Dr. André Cabral França, pela amizade, orientação e confiança, e pelos valiosos ensinamentos profissionais e pessoais.

Ao professor Dr. Enílson de Barros Silva, pela amizade, orientação, confiança e apoio durante toda a Graduação e Dissertação.

Ao professor Dr. José Barbosa dos Santos, pela amizade ensinamentos profissionais e pessoais.

Ao professor Dr. Reynaldo Campos Santana, pela amizade e conhecimentos adquiridos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelos ensinamentos durante as disciplinas cursadas.

Aos amigos Elton (Nobu) e laboratoristas Rafael e Lindomar, pela amizade e auxílio nas análises químicas realizadas durante a condução deste trabalho

Aos acadêmicos do curso de Produção Vegetal e amigos (as), pelo companheirismo, confiança e amizade demonstrados ao longo dos anos, em especial a Alcinei Místico (Alci), Carlos Enrrik (Indião), Galuppo, Lilian, Celso (Lacraia), Sandra, Renan (Barbosinha), Sara, Maxwell, Claubert, Eliza, Raoni, Larissa, Gustavo Antônio (Gabiru pegador de kz), Wander Gladson (Pegador), Luíse Amaral, Bernardo, Rodrigo (Tinga), Lana, Arley, Bel e Ariadne.

Aos membros do NECAF Ademilson (NeguimFogoso), Ana Flávia (Vegas), Bruna, Felipe (Fii), Juliano (Juca Heman), Lariane(UFC), Lílian, Marco Túlio (cliente do Toninho), Miguel (homem do Face), Moisés (irmão da Jandáia), Nikolas (Nikolai Araújo Eventos), Pedro (o meu veeelho) e Renan (Lorão) pelo auxílio na montagem dos experimentos e realização das análises durante a condução deste trabalho.

Aos amigos da República Etanóis: Filipe, Feliph, Cristiano, Higor, André e Gustavo.

A todos os amigos do GOU Anjos de Resgate e, às secretárias da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, pela ajuda nos momentos de dúvidas.

Obrigado a todos!

RESUMO

LEMOS, Vinícius Teixeira, **Aplicação do ácido cítrico na produção de mudas, no crescimento, estado nutricional e produtividade de café arábica**. 2012. 58p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

A cafeicultura a partir dos anos 80 expandiu-se para solos muito intemperizados e pobres em nutrientes, o que requer aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes, principalmente os fosfatados, além disso, passou a ser necessário se adicionar micronutrientes. Existem compostos hidrossolúveis como o ácido cítrico, que são capazes de formar complexos com Cu, Fe, Zn e Mn e favorecer sua difusão no solo, solubilizar fosfatos de Fe e Al de baixa solubilidade em solos ácidos pobres em P, aumentando a disponibilidade de P pelo bloqueio dos sítios de adsorção. Diante do intemperismo em solo de cafeeiro e da ação positiva do ácido cítrico na liberação de nutrientes no mesmo, faz-se necessário conhecer os reais efeitos desse ácido orgânico em cafeeiros jovens e em produção. Para isso, foram realizados três experimentos visando avaliar o crescimento, estado nutricional e produtividade do cafeeiro, em três estádios de desenvolvimento da planta. O primeiro experimento, visando avaliar o crescimento, qualidade e o teor nutricional de mudas de café cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 submetidas à aplicação de ácido cítrico e concentrações de fósforo no substrato, utilizou-se do esquema fatorial (4x4), sendo o primeiro fator referente à aplicação de ácido cítrico (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹) e o segundo referente às doses de fósforo (0, 450, 900 e 1800 g P₂O₅ m⁻³) aplicadas no substrato. A aplicação de 1 a 2 kg ha⁻¹ de ácido cítrico foi a que mais influenciou positivamente o crescimento e a qualidade das mudas sobre a dose de fósforo padrão de 900 g P₂O₅ m⁻³ no substrato. Houve aumento nos teores foliares de Ca, N, P, S, Cu, Fe e Zn nas doses de 1,6 a 4,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico na ausência de fósforo. No segundo experimento, realizado em casa de vegetação, foram tratadas com quatro doses de ácido cítrico (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹) na presença e ausência de adubação fosfatada de plantio de cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. As doses entre 1,0 a 2,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico contribuem para o crescimento de cafeeiros até 75 dias após aplicação (DAA) sem o uso de adubação fosfatada na cova. Na presença de adubação fosfatada de plantio as dosagens de ácido cítrico utilizadas não contribuem para o crescimento e melhoria das plantas. A aplicação de ácido cítrico influencia nos teores foliares do cafeeiro independentemente da adubação fosfatada no plantio. O terceiro experimento foi conduzido em campo utilizando-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 com sete anos, implantada no espaçamento 3,8 x 0,7m. Os tratamentos constituíram-se de quatro doses de ácido cítrico (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹) aplicados em dose única anualmente na projeção da saia. A produção de café foi influenciada positivamente quando se adicionou 1,2 e 2,4 kg ha⁻¹ de ácido cítrico para 90% da máxima e a máxima produção, com incrementos de 14,5 e 27,2% em produtividades, respectivamente. A aplicação do produto no solo aumentou a absorção de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, refletindo em maiores teores foliares destes nutrientes. As faixas críticas dos nutrientes nas folhas em função das doses aplicadas de ácido cítrico, sendo estas: 0,14-0,15 dag kg⁻¹ para P; 3,12-3,21dag kg⁻¹ para K; 1,14-1,18 dag kg⁻¹ para Ca; 0,16-0,18 dag kg⁻¹ para Mg; 0,27-0,23 dag kg⁻¹ para S; 61,8-57,4 mg kg⁻¹ para B; 48,1-55,8 mg kg⁻¹ para Cu; 86,3-91,6 mg kg⁻¹ para Fe; 87,8-93,6 mg kg⁻¹ para Mn; 49,1-60,0 mg kg⁻¹ para Zn.

Palavras-Chave: ácidos orgânicos, *Coffea arabica*, qualidade de mudas, nutrição de plantas

ABSTRACT

Lemos, Vinícius Teixeira, **Application of citric acid in seedlings production, growth, nutritional status and productivity of Arabica coffee.** 2012. 58p. Dissertation (Masters in Vegetable Production) – Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Diamantina, 2012.

The coffee from the 80 expanded to highly weathered soils and nutrient-poor, which requires application of high amounts of fertilizers, especially phosphorus, in addition, it has become necessary to add micronutrients. There are water soluble compounds such as citric acid, which are capable of forming complexes with Cu, Fe, Zn and Mn and encourage its distribution in the soil, solubilizing iron and aluminum phosphates of low solubility in acidic soils of poor P, increasing the availability of P blocking of the adsorption sites. Before the weathering in the soil of coffee and the positive action of citric acid in the release of nutrients in it, it is necessary to know the real effects of this organic acid in young and coffee production. For this, experiments were carried out to evaluate the growth, nutritional status and productivity of coffee plants, three stages of plant development. The first experiment to evaluate the growth, quality and nutritional content of seedlings of Catuaí Vermelho (IAC-99) submitted the application of citric acid and phosphorus concentrations in the substrate, it was used the factorial scheme (4x4), the first factor related the application of citric acid (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹) and the second referring to the phosphorus levels (0, 450, 900 and 1800 g m⁻³ P₂O₅) applied on the substrate. The application 1-2 kg ha⁻¹ of citric acid was the most positively influenced the growth and the quality of seedlings on the phosphorus pattern P₂O₅ 900 g m⁻³ to the substrate. There was an increase in leaf Ca, N, P, S, Cu, Fe and Zn in doses from 1.6 to 4.0 kg ha⁻¹ from citric acid in the absence of phosphorus. In the second experiment conducted under greenhouse conditions, were treated with four doses of citric acid (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹) in the presence and absence of phosphate fertilizers planting of coffee trees, IAC 99. Doses from 1.0 to 2.0 kg ha⁻¹ of citric acid contribute to the growth of trees up to 75th days after application (DAA) without the use of phosphate fertilizer in the hole. In the presence of phosphate fertilizers planting dosage of citric acid used does not contribute to the growth and improvement of plants. The application of citric acid influence on foliar coffee regardless of phosphorus fertilization. The third experiment was conducted in the field using the IAC 44 with seven years, implemented in 3.8 x 0.7 m spacing. The treatments consisted of four doses of citric acid (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹) applied in a single dose under side of the plant. Coffee production was positively affected when added 1.2 and 2.4 kg ha⁻¹ of citric acid for 90% of the maximum and the maximum yield, with increases of 14.5 and 27.2% yields, respectively. The application of the product in the soil increased the uptake of P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn, reflecting higher levels of foliar nutrients. The critical ranges of nutrients in the leaves as a function of the applied doses of citric acid, which are: 0.14 to 0.15 dag kg⁻¹ for P, 3.12 to 3.21 dag kg⁻¹ for K, 1.14 - 1.18 dag kg⁻¹ for Ca, 0.16 to 0.18 dag kg⁻¹ for Mg, 0.27 to 0.23 dag kg⁻¹ for S, 61.8 to 57.4 mg kg⁻¹ for B, 48.1 to 55.8 mg kg⁻¹ for Cu, 86.3 to 91.6 mg kg⁻¹ for Fe, 87.8 to 93.6 mg kg⁻¹ for Mn, 49.1 to 60, 0 mg kg⁻¹ for Zn.

Keywords: organic acids, *Coffea arabica*, seedling quality, plant nutrition

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I.		Pág.
Tabela 1	Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento ^{1/}	9
Tabela 2	Equações referentes às variáveis de crescimento de plantas de café (Y) submetidas a diferentes doses de fósforo no substrato (x), aos 180 dias após semeadura (DAS).....	10
Tabela 3	Faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de mudas de café em sacos plásticos de polietileno ^{1/}	15
ARTIGO CIENTÍFICO II.		Pág.
Tabela 1	Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento ^{1/}	26
Tabela 2	Equações referentes aos teores de nutrientes em folhas de plantas de café (Y) submetidas a diferentes doses de ácido cítrico (x), aos 75 e 180 dias após aplicação (DAA).....	35
Tabela 3	Faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de plantas de café em pós-plantio ^{1/}	35
ARTIGO CIENTÍFICO III.		Pág.
Tabela 1	Características químicas e físicas do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0 a 20 cm.....	47
Tabela 2	Teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro em função das doses de ácido cítrico (AC) no solo em Diamantina, MG, em média de três safras (2009, 2010 e 2011).....	51
Tabela 3	Equações de regressão ajustadas para os teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro (\hat{Y}) em função das doses de ácido cítrico (x) aplicado no solo e faixa crítica de nutrientes estimada para obter a 90-100% da produtividade máxima. Média de três safras (2009, 2010 e 2011).....	51

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I.		Pág.
Figura 1	Densidade radicular (a) e matéria seca de raízes (b) em mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após semeadura (DAS).....	11
Figura 2	Matéria seca de caule (a) e matéria seca de folhas (b) de mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após semeadura (DAS).....	12
Figura 3	Matéria seca total (a) e área foliar (b) de mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após semeadura (DAS).....	13
Figura 4	Índice de qualidade de Dickson em mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	14
Figura 5	Teores de cálcio (Ca) (a) e nitrogênio (N) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	16
Figura 6	Teores de boro (P) (a) e cobre (S) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	18
Figura 7	Teores de boro (B) (a) e cobre (Cu) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	19
Figura 8	Teores de ferro (Fe) (a) e zinco (Zn) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).....	20
ARTIGO CIENTÍFICO II.		Pág.
Figura 1	Acúmulo da altura de planta aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	30
Figura 2	Acúmulo do número de folhas aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	30

Figura 3	Área foliar acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	31
Figura 4	Matéria seca de folhas acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	31
Figura 5	Matéria seca de caule acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	32
Figura 6	Matéria seca de raízes acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	32
Figura 7	Diâmetro do coleto (a) e densidade radicular (b) aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	33
Figura 8	Comprimento radicular (a) e matéria seca total (b) acumulados aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	33
Figura 9	Teores de cálcio (Ca) (a) e nitrogênio (N) (b) em folhas aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	36
Figura10	Teores de magnésio (Mg) aos 75 DAA (a) e aos 180 DAA (b) em folhas de cafeeiros submetidas a aplicação de ácido cítrico, com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	37
Figura11	Teores de fósforo (P) aos 75 DAA (a) e aos 180 DAA (b) em folhas de cafeeiros submetidas à aplicação de ácido cítrico, com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	38
Figura12	Teores de potássio (K) (a) e cobre (Cu) (b) em folhas aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	39
Figura13	Teores de ferro (Fe) aos 75 DAA (a) e aos 180 DAA (b) em folhas de cafeeiros submetidas à aplicação de ácido cítrico, com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	40
Figura14	Teores de boro (B) (a) e zinco (Zn) (b) em folhas aos 180 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).....	41

ARTIGO CIENTÍFICO III.

Pág.

Figura 1	Relação entre produtividade de grãos de café em função da aplicação de ácido cítrico no solo em Diamantina, MG, média de três safras (2009, 2010 e 2011).....	49
----------	---	----

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
ARTIGO CIENTÍFICO I. Crescimento de mudas de café submetidas à aplicação de ácido cítrico	
1 Resumo.....	6
2 Abstract.....	6
3 Introdução.....	7
4 Material e Métodos.....	8
5 Resultados e Discussão.....	10
6 Literatura Citada.....	21
ARTIGO CIENTÍFICO II. Crescimento e estado nutricional de cafeeiros submetidos à aplicação de ácido cítrico e fósforo no plantio	
1 Resumo.....	23
2 Abstract.....	23
3 Introdução.....	24
4 Material e Métodos.....	25
5 Resultados e Discussão.....	27
6 Literatura Citada.....	41
ARTIGO CIENTÍFICO III. Aplicação de ácido cítrico em cafeeiro no Alto Jequitinhonha (MG): produção e estado nutricional	
1 Resumo.....	44
2 Abstract.....	44
3 Introdução.....	45
4 Material e Métodos.....	47
5 Resultados e Discussão.....	48
6 Literatura Citada.....	54
CONCLUSÃO GERAL.....	57
ANEXO.....	58

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Coffea* é representado por pelo menos 103 espécies, no entanto, *C. arabica* L. (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café robusta) são as que se destacam comercialmente (DAVIS et al., 2006). Nos últimos anos, a produção mundial de café tem sido superior a 110 milhões de sacas, originada de países em desenvolvimento, como o Brasil, seguido pelo Vietnã, Colômbia, Indonésia, Etiópia, Peru e México. Além disso, o agronegócio cafeeiro movimenta aproximadamente 100 bilhões de dólares e emprega, direta e indiretamente, 500 milhões de pessoas em todo o mundo (ICO, 2011).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e produziu na safra 2010/2011, 43,48 milhões de sacas, sendo 32,19 milhões de sacas de café arábica. O estado de Minas Gerais contribuiu com aproximadamente 68% da produção brasileira de café arábica, fato que o torna o maior produtor nacional. Porém, a produtividade média brasileira ainda é baixa, de apenas 21,15 sacas ha⁻¹ de café beneficiado, considerando que o potencial produtivo das cultivares é superior a 40 sacas ha⁻¹ de café beneficiado (CONAB, 2011). Dentre os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade média brasileira, destacam-se lavouras antigas e depauperadas, deficiências nutricionais, bienalidade de produção, oscilações nos preços internacionais do produto, estresse abiótico e biótico, baixa tecnologia de produção e problemas no manejo da cultura como a adubação fosfatada (insuficiente devido ao baixo aproveitamento pela cultura).

Dentre os principais problemas encontrados pelos cafeicultores, destaca-se a necessidade de altas quantidades de adubação fosfatada em solos muito intemperizados, principalmente como os de cerrado e campo, onde houve uma mudança gradual nas suas características, basicamente no sentido de torná-los menos eletronegativos. A capacidade de troca catiônica (CTC) reduz e a adsorção aniônica aumenta, diminuindo a saturação por bases e aumentando gradualmente a retenção de ânions, como o fosfato (NOVAIS et al., 2007). Estes solos são extremamente pobres em fósforo (P) disponível. São necessárias aplicações de doses elevadas de fertilizantes fosfatados por ocasião do plantio, mas são extraídas pelas plantas quantidades relativamente pequenas de P, indicando que grande parte dos fosfatos adicionados estaria indisponível para o cafeeiro em crescimento (MELO et al., 2005), pois segundo alguns estudos como os da Indian Coffee (1998), o seu aproveitamento pelas plantas é em média de apenas 10% do adicionado no solo. Nessas condições, a adubação fosfatada assume papel importante e ao mesmo tempo limitante no sistema de produção cafeeira implantada em “solos de Cerrado e Campo”.

Além disso, passa a ser necessário adicionar micronutrientes, pois são essenciais para a produção das plantas. Dentre os micronutrientes usados no cafeeiro, o zinco (Zn) é um dos mais limitantes. Sua deficiência foi identificada por vários pesquisadores, devido, em grande parte, à inobservância do adequado manejo das lavouras cafeeiras (SILVA et al., 2005). Pois, sua aplicação só é eficiente na correção do solo para cafeeiros cultivados em solos arenosos, visto que, nos de textura argilosa, não se obtêm bons resultados com aplicação de Zn, devido à forte adsorção pelos colóides do solo (SILVA et al., 2005). Outro fator que causa a deficiência de Zn é a elevada taxa de aplicação de fertilizantes fosfatados, e alto teor de cobre em lavouras cafeeiras em virtude das pulverizações de rotina. Alto teor de Cu no solo causa efeitos antagônicos da absorção de Zn (INDIAN COFFEE, 1998), sendo nítidos os sintomas foliares desta deficiência.

Um dos grandes desafios enfrentados por pequenos agricultores destaca-se a baixa utilização de fertilizantes, devido a falta de recursos financeiros para uma adequada adubação dos cafeeiros (CORRÊA et al., 2001). Um dos mecanismos para melhorar a eficiência na utilização dos fertilizantes são aplicações de ácidos orgânicos via solo. Os ácidos orgânicos possuem radicais funcionais que os tornam capazes de formar complexos orgânicos com Al, Ca e Mg (PEARSON, 1966; citado por SILVA et al., 2005). Franchini et al. (1999) estudando ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como o ácido cítrico, observaram que a sua utilização na forma de solução pura ocasionou a formação de complexos estáveis com Ca e Al modificando de forma significativa sua mobilidade no perfil do solo.

Os grupos carboxílicos presentes em ácido cítrico tem facilidade de se dissociar em ampla faixa de pH do solo, liberando seus prótons facilmente, fazendo com que ocorra um ataque aos minerais do solo, promovendo a sua dissolução, como consequência os ânions orgânicos podem formar complexos solúveis com cátions metálicos (SPOSITO, 1989). O efeito da dissolução de óxidos de Fe e Al pode favorecer a adsorção competitiva entre P e ácidos orgânicos, reduzindo a superfície de adsorção do solo para o fosfato. Andrade et al. (2003) evidenciaram-se uma redução na adsorção/precipitação de fosfato com o aumento das doses de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como o ácido cítrico.

Alguns autores (STEVENSON, 1994; GUPPY et al, 2005) afirmam que o aumento das doses de ácidos orgânicos, ocasionou aumento da competição pelos sítios de adsorção de fosfato e, ou, a formação de complexos ácidos orgânico/ácidos húmicos-fosfato, como consequência ocorreu a redução da adsorção de fosfato o que promoveu uma maior concentração de fosfato na solução do solo. Estes autores afirmam que, a disposição das cargas destes tipos de ácidos, em que o grupamento OH está no meio da molécula ao lado de

um dos grupamentos COOH, favorece a interação com a fração mineral do solo, facilitando a formação de quelatos e neutralizando de forma mais estável, os sítios de adsorção de P do solo. Experimentos realizados por Geelhoed et al. (1999) têm mostrado que a adsorção de citrato em hidróxidos de Fe diminui sua degradação, indicando que a adsorção dificulta a mineralização desses ácidos e que o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção de P pode perdurar por mais tempo. Segundo Silva et al. (2002) devido as características apresentadas pelo ácido cítrico, a sua aplicação no solo pode melhorar o aproveitamento do P pelas culturas, sendo uma alternativa para a redução das quantidades aplicadas desse nutriente e diminuir o custo de produção.

Jayarama et al. (1998) trabalhando com aplicação de ácido cítrico via solo, em áreas cultivadas com café na Índia, listam uma série de vantagens da aplicação de ácido cítrico no solo, sendo algumas delas: não acidifica o solo; ajuda a solubilizar o P; reduz a precipitação que ocorre entre Zn e P; suprime a atividade via complexação de elementos tóxicos como Al, Fe e Mn; aumenta a disponibilidade de K e Zn aplicados via solo; ajuda a reduzir a taxa de aplicação de P no desenvolvimento da cultura e aumentos na produtividade em torno de 5 a 7%. Neste trabalho estes mesmos autores recomendaram a aplicação de 1 a 1,5 kg ha⁻¹ de ácido cítrico misturado a formulação NPK utilizada para a fertilização da cultura. Em trabalhos realizados com café, Silva et al. (2005) afirmaram que a aplicação de 1 kg ha⁻¹ de ácido cítrico influenciou positivamente a produtividade do cafeeiro.

Na produção de mudas a utilização do ácido cítrico é uma alternativa, pois, pode aumentar a eficiência da utilização dos fertilizantes, diminuindo a quantidade necessária para garantir o adequado desenvolvimento de mudas de café.

Diante do intemperismo em solo de cafeeiro e da ação positiva do ácido cítrico na liberação de nutrientes no mesmo, faz-se necessário conhecer os reais efeitos desse ácido orgânico em cafeeiros jovens e em produção, bem como conhecer a dosagem correta ou “ótima” para cada estágio de desenvolvimento da mesma.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento, estado nutricional e produtividade de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) cultivados em três estádios de desenvolvimento submetidos à aplicação de ácido cítrico via solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1003-1011. nov./dez., 2003.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. Quarta estimativa, dez/2011. Brasília: CONAB, 2011.

CORRÊA, J. B.; REIS JÚNIOR, R. A.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de minas gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.25, n.6, p.1279-1286, nov./dez., 2001.

DAVIS, A. P. et al. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea*(Rubiaceae). **Bot. J. Linn. Soc.**, v. 152, p. 465-512, 2006.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido após a aplicação de extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, 1999.

GEELHOED, J.S.; van RIEMSDIJK, W.H.; FINDENEGG, G.R. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. **European Journal of Soil Science**, v.50, p.379-390, 1999.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Austr. J. Soil Res.**, 43:189-202, 2005.

INDIAN COFFEE. Citric acid as potential phosphate solubiliser in coffee soils. In: **Indian Coffee**. Volume LXII No.4 April 1998.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Trade statistics**. [13/03/2011] (http://www.ico.org/coffee_prices.asp).

JAYARAMA, V.; SHANKAR, B.N.; SOUZA, V.M.D. Effect of citric acid on the solubility of phosphorus in coffee soils. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 12, p. 13-15, 1998.

MELO, B. de; MARCUZZO, K.V.; TEODORO, R.E.F.; CARVALHO, H. de P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de Cerrado de Patrocínio – MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, mar./abr., 2005.

NOVAIS, R.F; SMYTH, T.J.& NUNES, F.N. VIII Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ª edição, Viçosa-MG, 2007.

SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O. TANURE, L.P.P.; FONSECA, P.G.; DUARTE, D.M. Influência da aplicação de fósforo e ácido cítrico no milho cultivado em Neossolo quartzarênico. In: FertBio, 2008, Londrina PR **Anais...** Londrina, 2008 (CD ROOM).

SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G. Resposta do cafeeiro à aplicação de zinco e ácido cítrico no solo. In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: Embrapa Café, 2005 (CDROOM).

SILVA, F.A.M.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G.; GODINHO, A.; MALTA, M.R.; Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na rizosfera de cafeeiro por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Ciênc. agrotec.**, Lavras. Edição Especial, p.1391-1395, dez., 2002.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York: **Oxford University**, 277p. 1989.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 486p.

ARTIGO CIENTÍFICO I

CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ SUBMETIDAS À APLICAÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO

Growth of coffee seedlings submitted the application of citric acid

RESUMO - Objetivou-se avaliar o crescimento, a qualidade e o teor nutricional de mudas de café cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 submetidas à aplicação de ácido cítrico e fósforo no substrato. Utilizou-se o esquema fatorial (4x4), sendo o primeiro fator referente à aplicação de ácido cítrico (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹) e, o segundo referente às doses de fósforo (0, 450, 900 e 1800 g P₂O₅ m⁻³), aplicadas no substrato. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com cinco repetições. As sementes foram colocadas para germinar em saquinhos com substrato padrão, ajustado conforme os tratamentos. O ácido cítrico foi aplicado quando as mudas apresentavam as folhas cotiledonares. As avaliações foram realizadas aos 180 dias após a semeadura (DAS) quando as mudas estavam com quatro a cinco pares de folhas, sendo avaliadas: altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e teores de macro e micronutrientes nas folhas. Aferiu-se a matéria seca de folhas, caule e raízes, densidade e comprimento radicular e índice de qualidade de Dickson. A dose de 1 kg ha⁻¹ de ácido cítrico foi a que mais contribuiu para o crescimento e qualidade das mudas na dose de 900 g P₂O₅ m⁻³ de fósforo. Houve redução nos teores foliares de P e Zn quando aplicado ácido cítrico em substrato com fósforo padrão. Contudo, detectou-se acréscimo nos teores foliares de Ca, N, P, S, Cu, Fe e Zn nas doses de 1,6 a 4,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico em mudas no substrato sem fósforo.

Palavras-Chave: ácidos orgânicos, *Coffea arabica*, fósforo, qualidade de mudas, nutrição

ABSTRACT -The objective was to evaluate the quality, growth, and nutritional content of seedlings of Catuaí Vermelho (IAC-99) coffee, submitted the application of citric acid and phosphorus concentrations in the substrate. It was used the factorial scheme (4x4), being the first factor concerning the application of citric acid to the substrate (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹), and the second concerning the doses of phosphorus (0, 450, 900 and 1800 g P₂O₅ m⁻³) in the substrate. The experimental design was a randomized complete block with five replicates. The seeds had been germinated in bags on common substrate, respecting the treatments with

applications of phosphorus. On the 70th day after sowing (DAS), when the seedlings had four to five pair of leaves, a solution of citric acid was applied. The evaluation have been held at 180 DAS when the seedlings had four to five leaf pairs. It was measured height, stem diameter, leaf number and leaf area of plants. In the same period there have been collected all the leaves of the seedlings to determine the levels of macro and micronutrients. There have been measured at the dry leaves, stems and roots, and root length density and Dickson quality index. The dose of 1 kg ha⁻¹ of citric acid was the one that most positively influenced the growth and quality of seedlings on the standard dose of phosphorus (900 g P₂O₅ m⁻³) to form the substrate. There was a reduction in the leaf content levels of P and Zn when applied citric acid in the substrate with standard phosphorus. However, it was detected an increase in Ca, N, P, S, Cu, Fe and Zn in doses from 1.6 to 4.0 kg ha⁻¹ from seedlings in the citric acid in phosphorus-free substrate.

Keywords: organic acids, *Coffea arabica*, phosphorus, quality seedlings, nutrition

INTRODUÇÃO

O parque cafeeiro brasileiro é estimado em mais de 6,4 bilhões de covas, está presente em propriedades de tamanhos diversos, ocupando mais de 2,2 milhões de hectares (CONAB, 2011). De acordo com a CONAB (2011), produtores estimulados pelas altas no valor da saca de café do mercado, indicaram que, somente no ano de 2011 obteve um aumento de 4,3% de lavouras em formação, proporcionando maior demanda por mudas a serem plantadas.

Em Minas Gerais, a produção de mudas em sacolas plásticas representa grande parte do total de mudas de cafeeiro produzidas, por apresentar baixo custo inicial em relação ao uso de tubetes, facilidade na obtenção do substrato e ser um sistema de produção amplamente difundido em todas as regiões cafeeiras (SILVA et al., 2010).

Entretanto, um dos grandes desafios enfrentados por pequenos viveiristas é o alto custo dos fertilizantes minerais. Os fertilizantes possuem grande importância na formação da muda sendo alvo de várias pesquisas, principalmente quanto à composição de substratos para a produção de mudas, pois representa a maior parte entre o custo de produção (AGRIANUAL, 2010). Um substrato indicado como ideal terá que satisfazer às exigências físicas e químicas e conter quantidades suficientes de elementos essenciais (água, ar e nutrientes minerais) ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

A produção de mudas sadias e bem desenvolvidas é um fator de extrema importância para qualquer cultura, principalmente para as perenes, como o cafeeiro. Quando esta etapa é bem conduzida tem-se uma atividade mais sustentável, com maiores produtividades e com menores custos, constituindo um dos principais fatores de formação de uma lavoura. O sistema de produção de mudas adotado deve ser adequado de forma a não proporcionar somente um bom desenvolvimento das mudas no viveiro, como também, no campo (MATIELLO et al., 2005).

Na busca de melhorar a eficiência dos fertilizantes no solo, alguns autores (GUPPY et al., 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; SILVA et al., 2005, SOARES et al., 2008) demonstram que os ácidos orgânicos como o cítrico, apresenta grande eficiência quando aplicados no solo.

Em trabalho apresentado por Andrade et al. (2003) evidenciaram que, de modo geral, há uma redução na complexação do fósforo nas cargas do solo com o aumento das doses de ácidos cítrico, e, este promove uma maior concentração de fosfato na solução do solo. Segundo Silva et al. (2008), devido as características apresentadas pelo ácido cítrico, a sua aplicação no solo pode melhorar o aproveitamento do P pelas culturas, sendo uma alternativa para a redução das quantidades aplicadas desse nutriente e diminuir o custo de produção.

Para a produção de mudas com baixo custo, a utilização do ácido cítrico é uma alternativa, pois, pode aumentar a eficiência de utilização dos fertilizantes, diminuindo a quantidade padrão utilizada e garantindo o adequado desenvolvimento das mudas de cafeeiro com um mínimo de aplicação de fósforo no substrato. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o crescimento, qualidade e os teores nutricionais de mudas de café (*Coffea arabica*) submetidas à aplicação de ácido cítrico e concentrações de fósforo no substrato.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, com condições controladas de temperatura e umidade. Utilizou-se da cultivar Catuaí Vermelho IAC99, onde todos os substratos utilizados foram compostos pela mesma mistura de 300L de esterco de curral curtido, 0,5 kg de cloreto de potássio e 700L de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006), para cada metro cúbico de substrato (GUIMARÃES et al., 1999). Para composição dos tratamentos com adição de P, utilizou-se superfosfato Simples como fonte

deste nutriente. Os resultados das análises físicas e químicas do solo utilizado encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento¹.

Análise granulométrica (dag kg ⁻¹)												
Areia		Silte		Argila		Classe textural						
38		6		56		Argilosa						
Análise química												
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	m	V	
H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³%.....
6,1	1,3	8	0,1	0,1	0,3	4,6	0,3	0,6	4,9	50	6	
P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu		B		MO				
mg L ⁻¹	..... mg dm ⁻³									dag kg ⁻¹	
7,3	0,2	30,5	0,7	0,1		0,1		1,9				

¹Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. pH água: Relação solo-água 1:2,5. P e K: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L⁻¹. T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. MO – Teor de matéria orgânica determinado pelo método da oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido multiplicado por 1,724.

Utilizou-se do esquema fatorial (4x4), sendo o primeiro fator referente à aplicação de ácido cítrico no substrato da muda (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹); e o segundo fator referente as doses de fósforo (0, 450, 900 e 1800 g P₂O₅ m⁻³), equivalente a 0, 1/2x, 1x, 2x, segundo a recomendação de Guimarães et al. (1999) para aplicação do nutriente na formação de mudas de cafeeiro. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com cinco repetições. A unidade experimental foi constituída por uma muda de cafeeiro (saquinho de polietileno 11x22 cm).

Aos 70 dias após a semeadura (DAS), quando as mudas apresentavam as folhas cotiledonares aplicou-se 25 mL da solução de ácido cítrico em cada unidade experimental.

Aos 180 DAS, realizou-se a coleta dos dados quando as mudas encontravam-se com quatro a cinco pares de folhas definitivas. As características avaliadas foram: altura (cm), diâmetro do coleto (mm), número de folhas e área foliar (cm²), sendo esta realizada de acordo com o método não destrutivo proposto por Antunes et al. (2008). Posteriormente, as mudas foram cortadas rentes ao solo, divididas em folhas, caules e raízes determinando-se o comprimento (cm) e a densidade radicular (medida através da razão entre matéria fresca das raízes e volume de água deslocado -g mL⁻¹) e suas respectivas matérias seca. Para determinação dos teores de macro e micronutrientes, coletaram-se as folhas das plantas de café, com exceção das cotiledonares, (MALAVOLTA, 1997). Para determinar a qualidade das

mudas, calculou-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), obtido pela fórmula $IQD = [\text{matéria seca total}/(\text{RAD} + \text{RPAR})]$, onde RAD= relação da altura da parte aérea (cm) com o diâmetro do coleto (mm) e RPAR= relação da matéria seca da parte aérea (g) com a matéria seca de raízes (g) (MARANA et al., 2008). Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as variáveis comparadas por análise de regressão, com escolha dos modelos em função da sua significância, do fenômeno biológico e do coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis mensuradas aos 180 DAS, como densidade radicular (DRAD), matéria seca de raízes, caule, folhas e total, área foliar e índice de qualidade de Dickson (IQD) observou-se efeito significativo da interação entre os fatores testados (fósforo X ácido cítrico), sendo as mesmas desdobradas, estudando-se as doses de fósforo para cada dose de ácido cítrico. Para as demais características como altura (cm), número de folhas, diâmetro do coleto (mm) e comprimento radicular (cm) houve efeito significativo somente das doses de fósforo.

O aumento das doses de fósforo no substrato proporcionou um crescimento exponencial na altura da planta, número de folhas e diâmetro do coleto e, um modelo de crescimento quadrático para comprimento radicular (Tabela 2). Contudo, o desenvolvimento das mudas estabilizou-se a partir da dose padrão ($900 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$). Corroborando com Melo et al.(2003) que constataram que doses acima $1000 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$ no substrato não apresentam efeitos significativos no desenvolvimento de mudas de cafeeiro em tubetes. Todavia, o crescimento radicular atingiu o seu ponto máximo crescimento com $1.450 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$ com acréscimo de 27% em relação ao substrato controle.

Tabela 2 - Equações referentes às variáveis de crescimento de plantas de café (Y) submetidas a diferentes doses de fósforo no substrato (x), aos 180 dias após semeadura (DAS).

Variável		Equações	R ²
180 DAS			
Altura da planta	cm	$\hat{Y} = 8,2 + 1,743 * -1,0e^{-0,0041*x}$	0,97*
Número de folhas	-	$\hat{Y} = 8,0 + 1,0222 * -1,0e^{-0,0027*x}$	0,99*
Diâmetro do coleto	mm	$\hat{Y} = 2,6 + 0,35 * -1,0e^{-0,0055*x}$	0,99*
Comprimento radicular	cm	$\hat{Y} = 17,5 + 0,0067x - 2,34e^{-6}x^2$	0,99*

* representa significância pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Foram observadas nos resultados diferenças significativas na interação (fósforo x ácido cítrico) para as características de densidade radicular (Figura 1-a) e matéria seca das

raízes (Figura 1-b). Houve incremento na densidade radicular onde, seguiu tendência quadrática com aumento das doses de ácido cítrico quando aplicado no substrato com $900\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$, onde houve incremento nessa variável atingindo o máximo na dose de $2,2\text{ kg ha}^{-1}$, com acréscimo de $25,2\%$, com posterior redução. Entretanto, este aumento das doses de ácido cítrico em substrato com o dobro da dose padrão ($1800\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$) reduziu a densidade radicular. Esta redução representou que para cada quilograma do ácido cítrico aplicado houve decréscimo linear de $0,053\text{ g mL}^{-1}$ para a densidade radicular.

As doses de ácido cítrico influenciaram no acúmulo de matéria seca de raízes (MSR) sobre as diferentes doses de fósforo, com exceção no substrato se aplicação de P (Figura 1-b). Observou-se que no substrato quando adicionado de $1.800\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$ uma tendência negativa na curva em função do aumento das doses de ácido cítrico na matéria seca de raízes, com decréscimo de até $35,8\%$ em relação ao controle (sem aplicação de ácido cítrico). Todavia, as mudas na dose padrão de fósforo ($900\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$) comportaram-se de modo diferenciado das demais doses de fósforo no substrato, seguindo tendência exponencial de aumento no incremento da MSR com aumento das doses de ácido cítrico. Observou-se ainda que a partir de 1 kg ha^{-1} de ácido cítrico, houve maior acúmulo de matéria seca de raízes no substrato com $900\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$.

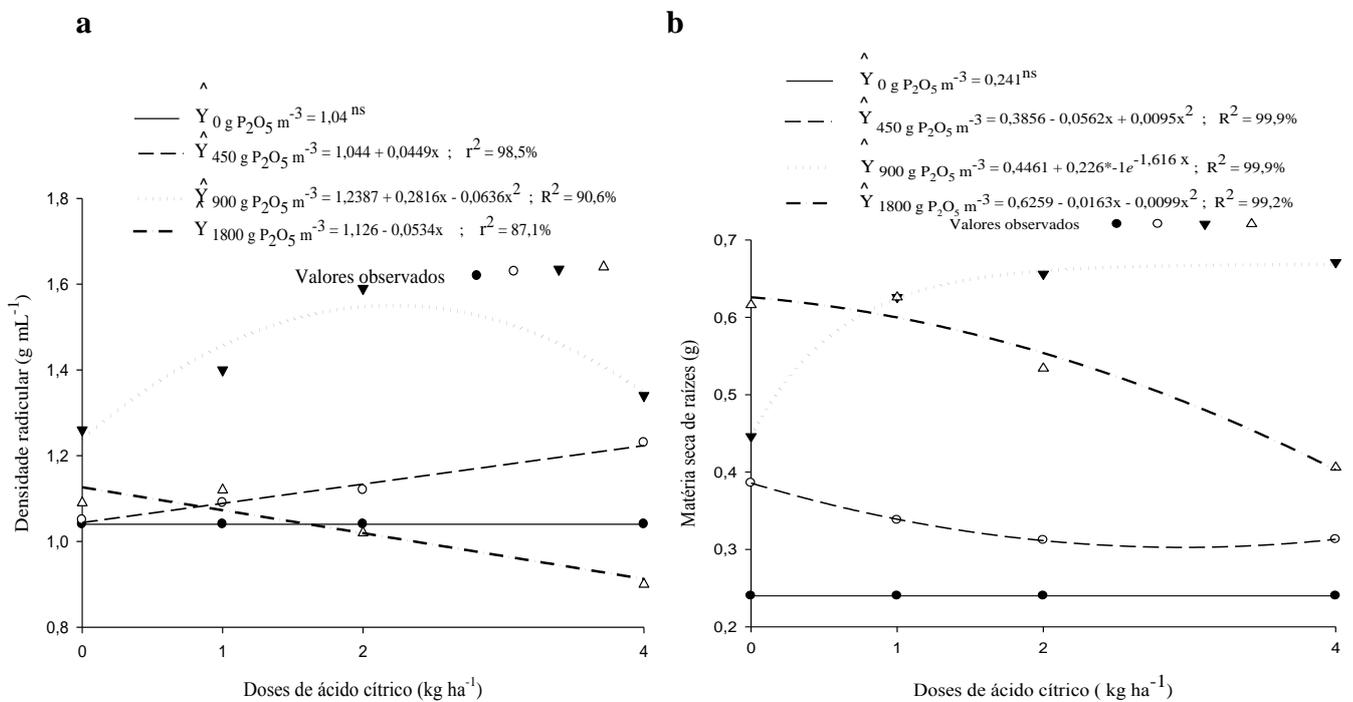


Figura 1 - Densidade radicular (a) e matéria seca de raízes (b) em mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após semeadura (DAS).

O aumento das doses de ácido cítrico influenciou o acúmulo de matéria seca de caule (MSC), folhas (MSF) (Figuras 2-a e 2-b), total (MST) e área foliar (AF) (Figuras 3-a e 3-b), sobre as diferentes doses de fósforo no substrato. Entretanto, a única interação que demonstrou incrementos nestas variáveis em todas as doses de ácido cítrico foi quando a muda foi preparada com substrato padrão com $900\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$. Nesta dose, para cada quilograma de ácido cítrico aplicado por hectare (equivalente a um quilograma aplicado em 2000 m^{-3} de substrato) houve um incremento de $0,026\text{ g}$ e $0,061\text{ g}$ na MSC (Figura 2-a) e MSF das mudas (Figura 2-b), respectivamente. Todavia, na MSF observou-se um pequeno incremento de $0,026\text{ g}$ com a dose de 4 kg ha^{-1} de ácido cítrico, em um substrato controle ($0\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$). Verificou-se que a MSF com $1.800\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$ no substrato, obteve comportamento quadrático positivo com posterior redução, submetida aplicação de ácido cítrico, onde, o ponto de máximo acúmulo foi com a dose de $1,8\text{ kg ha}^{-1}$ e mínimo com 4 kg ha^{-1} .

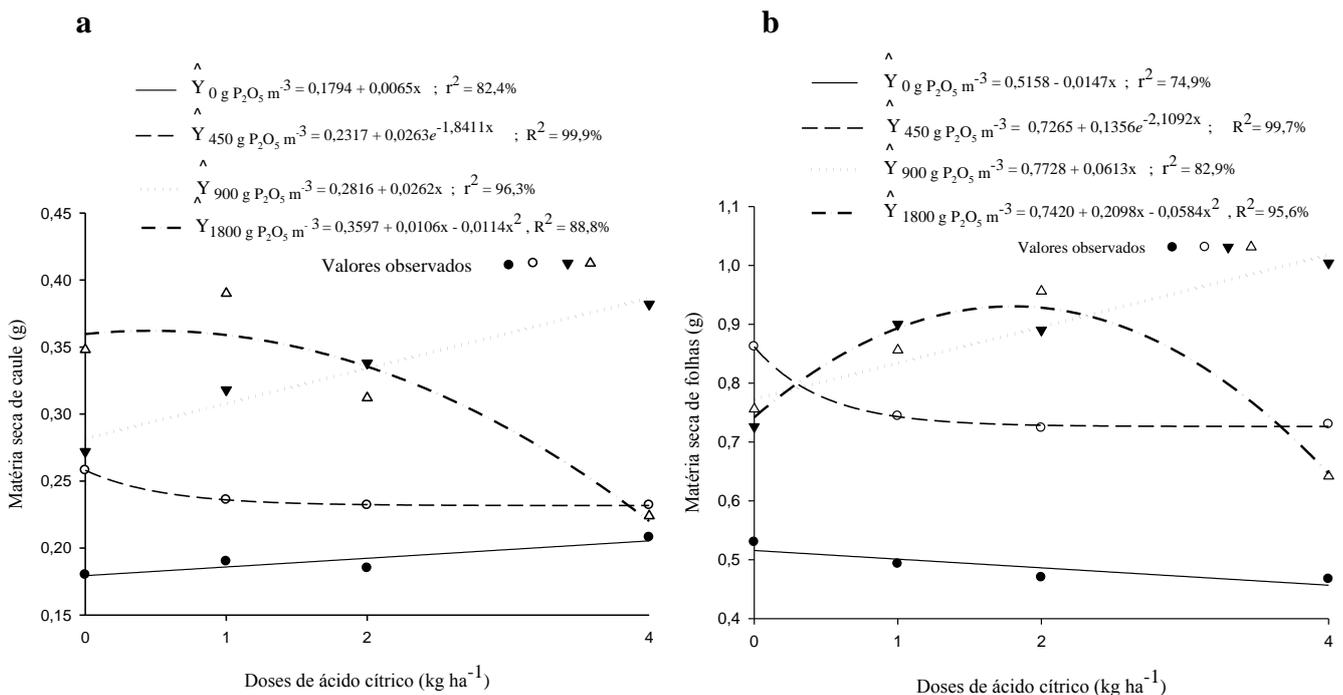


Figura 2 - Matéria seca de caule (a) e matéria seca de folhas (b) de mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após semeadura (DAS).

Observou-se um aumento da MST a partir da dose de 1 kg ha^{-1} de ácido cítrico, seguindo um modelo exponencial positivo com incrementos médios de $32,5\%$ em relação a não aplicação de ácido cítrico (Figura 3-a). Guimarães (1994) trabalhando com mesma cultivar aplicando-se $900\text{ g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$ e sem adição de ácido cítrico obteve valor semelhante ao encontrado, com média de MST de $1,42\text{g}$. Com a adição do ácido cítrico nota-se que ele

promoveu um maior acúmulo na matéria seca alcançando uma “dose ótima” aplicada, corroborando, (JAYARAMA et al. 1998 citado por SILVA et al. 2002) encontraram a melhor dose de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ quando trabalharam com crescimento de mudas.

A aplicação de ácido cítrico em mudas com a dose padrão de fósforo ($900 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$) promoveu comportamento linear positivo para a variável área foliar, com incrementos de $12,74 \text{ cm}^2$ de área foliar para cada quilograma de ácido cítrico aplicado, onde, houve acréscimos de 29,4% de AF com a dose de 4 kg ha^{-1} , atingindo valor médio de $224,1 \text{ cm}^2$ (Figura 3-b).

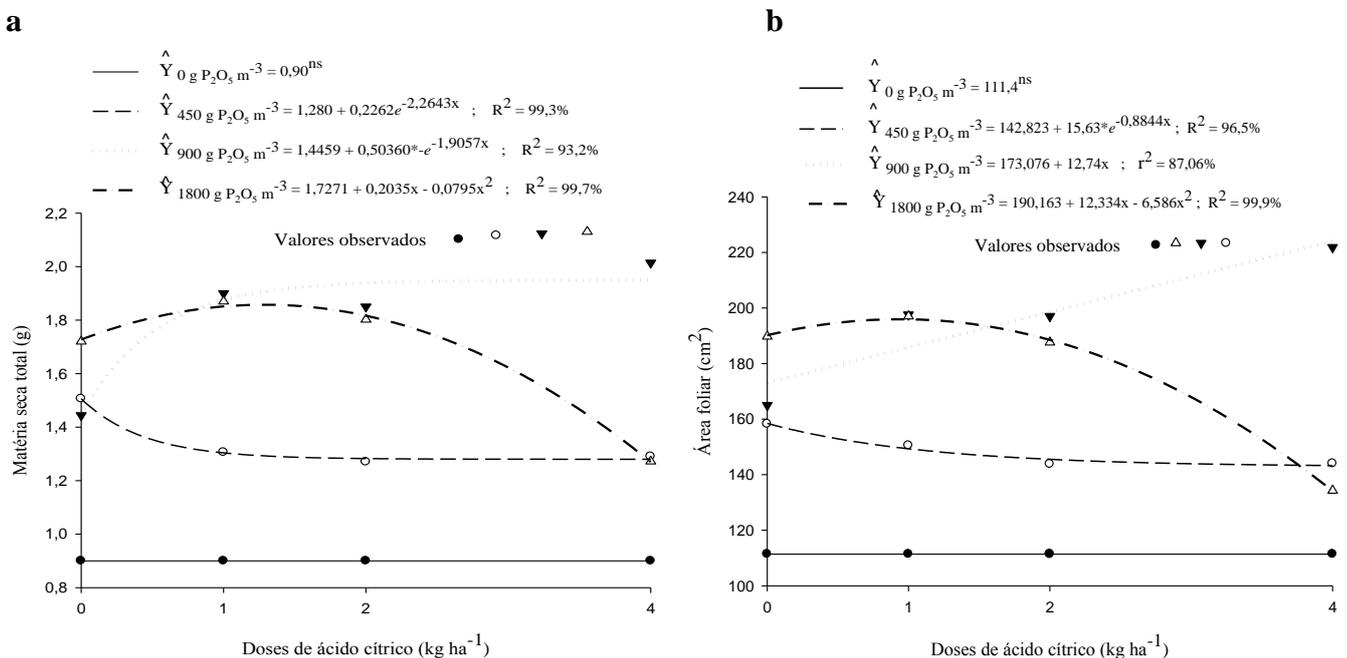


Figura 3 - Matéria seca total (a) e área foliar (b) de mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após semeadura (DAS).

As doses de ácido cítrico influenciaram no Índice de Qualidade de Dickson (IQD) nas diferentes doses de fósforo (Figura 4). Com o aumento das doses de ácido cítrico observou-se comportamento linear positivo no substrato com dose de $0 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$ aumentando o índice 0,017 a cada quilograma de ácido orgânico aplicado. Entretanto, não alcançando o valor mínimo de qualidade de mudas de 0,20 conforme recomendação de Marana et al. (2008), apresentando mudas de qualidade inferior. Observou-se que aplicação do ácido cítrico proporcionou comportamento linear crescente no índice de qualidade de Dickson (IQD), quando foi utilizado o substrato com a dose padrão de fósforo ($900 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$), para cada quilograma de ácido cítrico acrescentado no substrato aumentou-se 0,009 pontos no índice de qualidade das mudas (Figura 4). Contudo, quando aplicado em um substrato com o dobro de

fósforo padrão ($1800\text{g P}_2\text{O}_5\text{ m}^{-3}$), o ácido cítrico proporcionou um comportamento quadrático positivo, com uma posterior redução de quase 26% em relação a não aplicação do ácido orgânico (Figuras 4).

Evidencia-se que dentre os vários fatores que afetam a qualidade de mudas, pode-se citar a adubação do substrato (CRUZ et al., 2006). Marana et al. (2008) demonstraram que o princípio de avaliação quantitativa é de que, quanto maior a muda de café, melhor, é errônea, pois, podem ocorrer distorções provenientes do excesso de nitrogênio, e usando-se o IQD (Índice de Qualidade de Dickson) obtiveram melhor resposta a qualidade das mudas de café, sendo o índice de 0,21 em suas mudas mais vigorosas com isto, de fundamental importância para avaliação de mudas submetidas à aplicação de ácido cítrico.

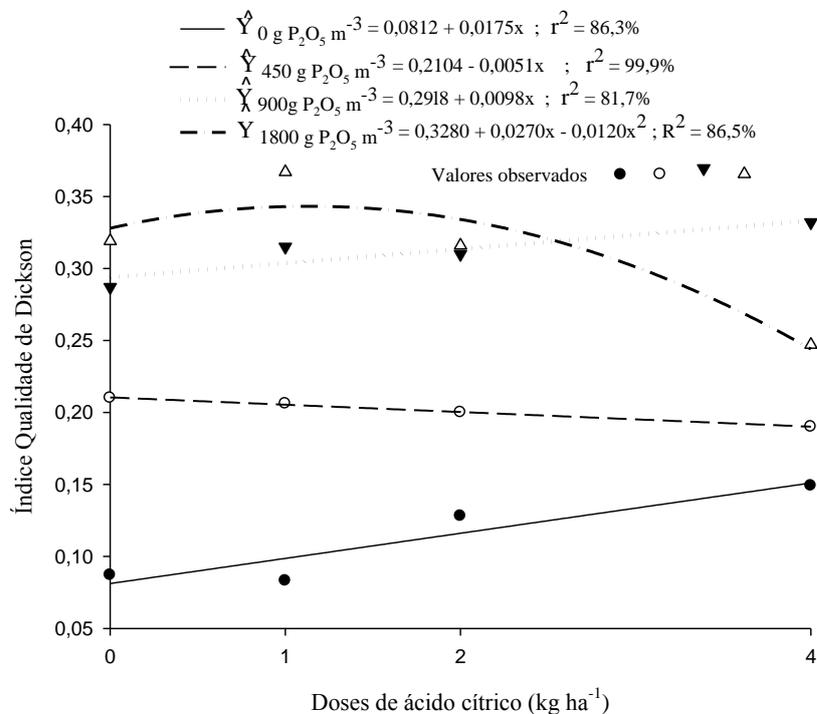


Figura 4 - Índice de qualidade de Dickson em mudas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Quanto aos teores foliares das mudas de café aos 180 DAS, houve efeito significativo da interação entre os fatores testados (fósforo X ácido cítrico), sendo o mesmo desdobrado, estudando-se as doses de fósforo para cada dose de ácido cítrico nos nutrientes como: Ca, N, P, S, B, Cu, Fe e Zn. Para os demais nutrientes como Mg, K e Mn houve efeito significativo somente das doses de fósforo.

Tabela 3 - Faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de mudas de café em sacos plásticos de polietileno^{1/}.

Macronutrientes	---g kg⁻¹---	Micronutrientes	---mg kg⁻¹---
N	25,7 – 27,80	B	39,7 – 39,9
P	3,30 – 3,80	Cu	6,94 – 9,29
K	25,8 – 27,0	Fe	209,0 – 213,9
Ca	7,00 – 7,70	Mn	33,05 – 37,21
Mg	1,10 – 1,20	Zn	3,68 – 4,08
S	2,20 – 2,60		

^{1/} Fonte: Gontijo, (2004) e Gontijo et al. (2007).

As doses de ácido cítrico influenciaram significativamente nos teores de cálcio (Ca) na matéria seca das folhas de café, sendo a dose controle de fósforo (0 g de P₂O₅ m⁻³), mostrou exceção das demais, sendo a única a responder de forma linear crescente a aplicação do ácido orgânico (Figura 5-a). Observou-se ainda que, as mudas com substrato de 450 e 900 g de P₂O₅ m⁻³ submetidas à aplicação de ácido cítrico tiveram reduções lineares nos teores de Ca, onde, a cada quilograma do ácido orgânico aplicado houve um decréscimo de 0,172 e 0,142 g kg⁻¹ na matéria seca das plantas, respectivamente. Na quantidade de 1800 g de P₂O₅ m⁻³ ocorreu um modelo quadrático positivo nos teores de Ca, submetidas a doses de ácido cítrico, atingindo o ponto de máximo acúmulo com a dose de 1,3 kg ha⁻¹, com 9,9 g kg⁻¹ na matéria seca e, com posterior redução na dose de 4 kg ha⁻¹ para 7,73 g kg⁻¹ com decréscimo de 12,2% em relação às mudas controle (sem aplicação de ácido cítrico).

Os teores de cálcio foram ligeiramente superiores aos limites de máximo da faixa adequada (Tabela 3) e, podem ser atribuídas as adubações diferenciadas de fósforo no substrato, que por sua vez sua fonte utilizada (superfosfato simples) possui cálcio na formulação, e, sua posterior redução no teor de Ca foliar pode ser explicada pela solubilização de elementos como o potássio, que o ácido cítrico promove, por processos de quelação e troca de ligantes (FOX & COMERFORD, 1990; citado por SILVA et al. 2002), sendo este elemento em alta concentração na solução do solo, promove uma inibição competitiva com o cálcio, que por consequência a planta absorve menor quantidade de Ca do que sem a inibição do outro nutriente (GUIMARÃES & REIS, 2010).

O ácido cítrico aplicado sobre as diferentes doses de fósforo (P₂O₅) no substrato influenciou nos teores de nitrogênio(N) na matéria seca das folhas, sendo a aplicação sobre a dose controle de fósforo (0g de P₂O₅ m⁻³) no substrato respondeu com grande aumento e posterior redução no teor de N foliar (Figura 5-b). Nesta dose, o ponto de máximo teor de N foliar foi na dose 1,6 kg ha⁻¹ com teor de 30,8 g kg⁻¹ e posterior redução para 24,8 g kg⁻¹ com a dose de 4 kg ha⁻¹ de ácido cítrico. Na concentração de 450 g de P₂O₅ m⁻³ a aplicação do ácido

orgânico proporcionou um modelo quadrático positivo nos teores de nitrogênio, com pontos de máximo de 4 kg ha⁻¹ com 27,5 g kg⁻¹, onde, as mudas atingiram a faixa crítica de teor de N, a partir da dose de 1,3 kg ha⁻¹. Em substratos com a dose de fósforo padrão (900 g de P₂O₅ m⁻³), a aplicação de ácido cítrico proporcionou um modelo quadrático positivo com valor máximo de 30,5 g kg⁻¹ de N foliar com a dose 3,1kg ha⁻¹ de ácido cítrico.

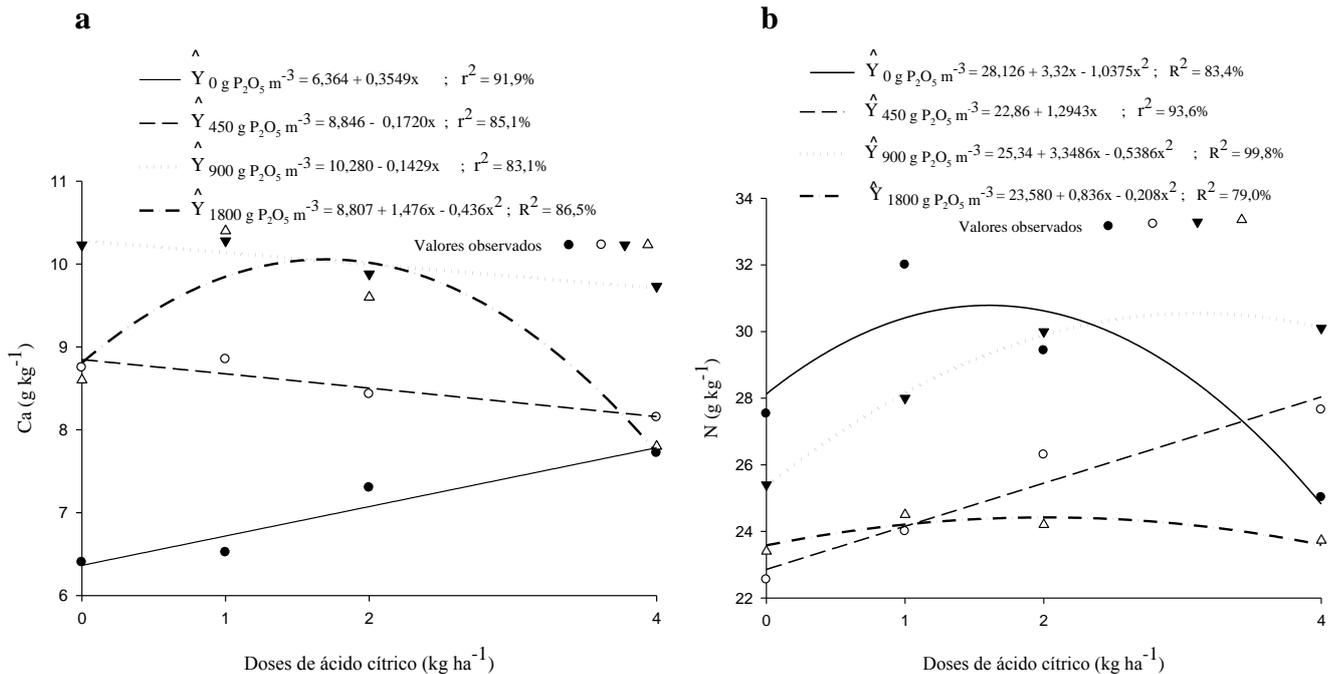


Figura 5 - Teores de cálcio (Ca) (a) e nitrogênio (N) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS)

As doses de ácido cítrico influenciaram os teores de P na matéria seca das folhas, onde, destaca-se o aumento linear do nutriente nas mudas onde não se colocou fósforo no substrato (Figura 6-a). Nota-se ainda que, para cada quilograma aplicado de ácido cítrico houve um aumento de 0,419 g kg⁻¹ de P na matéria seca das folhas, sendo a dose de 1 kg ha⁻¹ do ácido orgânico garantiu a adequação nos teores dentro da faixa crítica de P em folhas cafeeiro (Tabela 3).

Entretanto, mesmo obtendo uma alta resposta em teor foliar, as mudas que não receberam fósforo na forma mineral no substrato demonstraram inferiores em área foliar, densidade radicular e massa seca total (MST) acumulada, pois, em substratos com deficiência deste nutriente, geralmente as mudas mostram desenvolvimento irregular na parte aérea e sistema radicular (SILVA et al, 2010). Infere-se que, ou o ácido cítrico não proporcionou

quantidade equivalente ao fósforo mineral, e/ou o cálcio presente no adubo fonte (superfosfato simples) é que promoveu maior desenvolvimento das mudas. Com metade da dose padrão de fósforo no substrato (450 g de P_2O_5 m^{-3}), observou-se que o teor atingiu a faixa crítica de P (Tabela 3). Entretanto sem efeito significativo da aplicação de ácido cítrico (Figura 6-a). Na dose de fósforo padrão (900 g de P_2O_5 m^{-3}) observou-se comportamento quadrático negativo dos teores de P na matéria seca com a aplicação de ácido cítrico, onde, com o aumento das doses houve redução proporcional, atingindo valores de 2,75 g kg^{-1} do nutriente com a dose de 4 kg ha^{-1} . Na aplicação de ácido cítrico sobre mudas com 1800 g de P_2O_5 m^{-3} observou-se que o ponto de máximo teor foliar de fósforo de 3,3 g kg^{-1} foi obtido quando aplicaram 2,11 kg ha^{-1} de ácido cítrico, e, quando se aumentou a dose do ácido orgânico, este valor retornou para 3,1 g kg^{-1} de P na matéria seca das folhas.

As doses de ácido cítrico influenciaram no teor de enxofre(S) na matéria seca das folhas onde, no substrato com dose padrão de fósforo (900g de P_2O_5 m^{-3}), foi verificada a menor variação nos teores do nutriente (Figura 6-b). No substrato com 0g de P_2O_5 m^{-3} , verificou-se um crescimento quadrático no teor de enxofre nas folhas, atingindo o ponto de máximo na dose de 2,78 kg ha^{-1} de ácido cítrico, com valor de 1,45 g kg^{-1} . Valor este, abaixo da faixa crítica (Tabela 3). Na dose de 450 g de P_2O_5 m^{-3} o ácido cítrico promoveu uma redução quadrática no teor de enxofre nas folhas, verificando-se uma redução de quase 52% no teor foliar do nutriente. Estudos da dinâmica da interação do S e do P notaram que há uma interação fortemente positiva entre estes nutrientes, e que a utilização de altos teores de P e, ou, de N podem provocar deficiência de S, quando o teor no solo é baixo, promovendo um desbalanço entre ânions (GUIMARÃES & REIS, 2010). Além disso, o grau de afinidade dos ânions com o citrato (ácido orgânico) e o fosfato, é bem maior do que a do sulfato por meio de bloqueio dos sítios de adsorção (NOVAIS et al. 2007), assim, este último sendo possivelmente lixiviado pelas regas diárias das mudas, que conseqüentemente será menos absorvido pelas plantas.

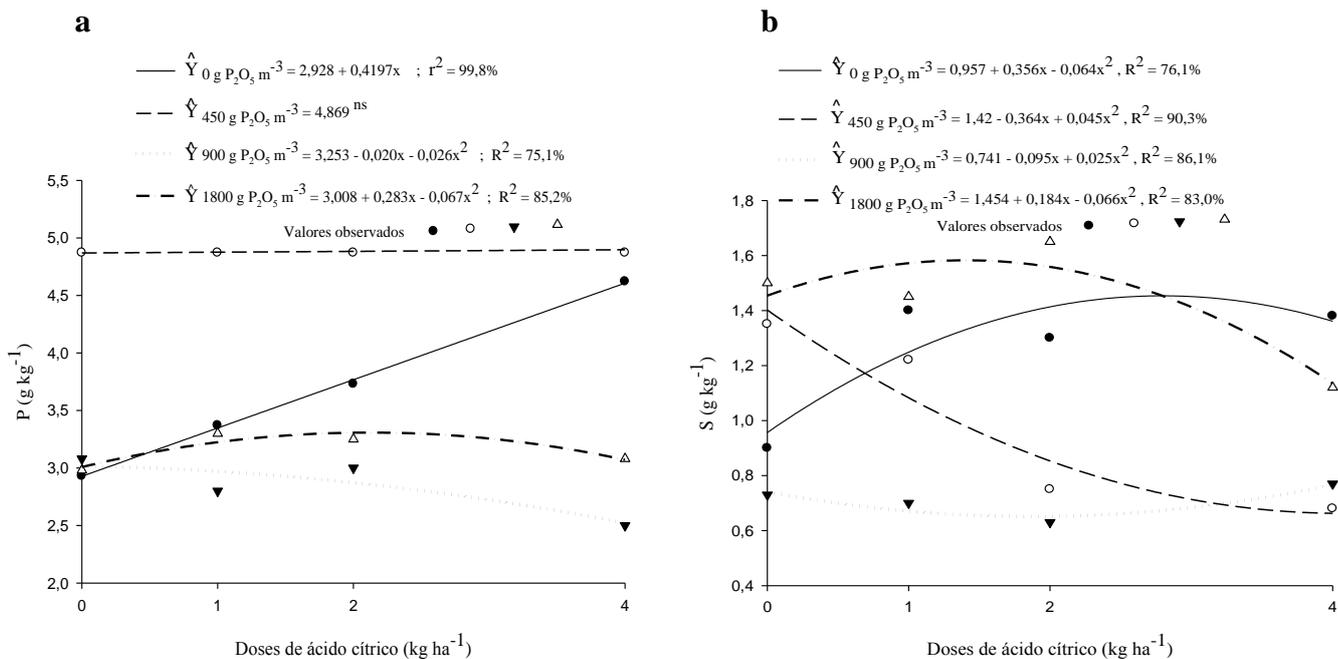


Figura 6 - Teores de fósforo (P) (a) e enxofre (S) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).

As doses de ácido cítrico influenciaram o teor de boro (B) na matéria das folhas submetidas a diferentes doses de fósforo no substrato de forma diferenciada em cada dose (Figura 7-a). Entretanto, somente o substrato com dose 1800 g P₂O₅ m⁻³ submetido à aplicação do ácido orgânico que atingiu a faixa crítica para o nutriente. Nas mudas deste mesmo substrato foi observado um modelo quadrático positivo, com ponto de máximo na dose de 2,67 kg ha⁻¹ com 55,3 mg kg⁻¹ de B na matéria seca das folhas. Todavia, o teor um pouco abaixo da faixa crítica é comum, pois o B é um nutriente facilmente lixiviado (ABREU et al. 2007), principalmente pelas regas diárias das mudas.

Doses de ácido cítrico influenciaram o teor de cobre (Cu) na matéria seca das folhas sobre as diferentes doses de fósforo no substrato, entretanto, o ácido cítrico teve maior eficiência com o acréscimo das doses onde não se aplicou fósforo no substrato (Figura 7-b). Observa-se ainda que, este tratamento seguiu modelo quadrático crescente, atingindo o ponto de máximo de 24,5 mg kg⁻¹ com a dose 3,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico, acrescentando em 56,9% em teor deste nutriente nas folhas e, com uma posterior redução na dose de 4 kg ha⁻¹. Esse comportamento é explicado devido a solubilização dos macro e micronutrientes no solo, em especial o Cu, promovida pelos ácidos orgânicos, como o cítrico, que disponibiliza nutrientes para a absorção das plantas, liberando tanto cátions como ânions, através de reações solubilizantes de precipitados orgânicos (NOGUEIRA, 2007). No substrato com 450g de P₂O₅ m⁻³, a aplicação de ácido cítrico proporcionou comportamento quadrático, com uma

redução de 16,47 mg kg⁻¹ para 12,24 mg kg⁻¹ na dose de 4 kg ha⁻¹. Todos os tratamentos com ácido cítrico e fósforo proporcionaram teores de cobre acima do que a faixa crítica determina para mudas de café com 180 dias (Tabela 3).

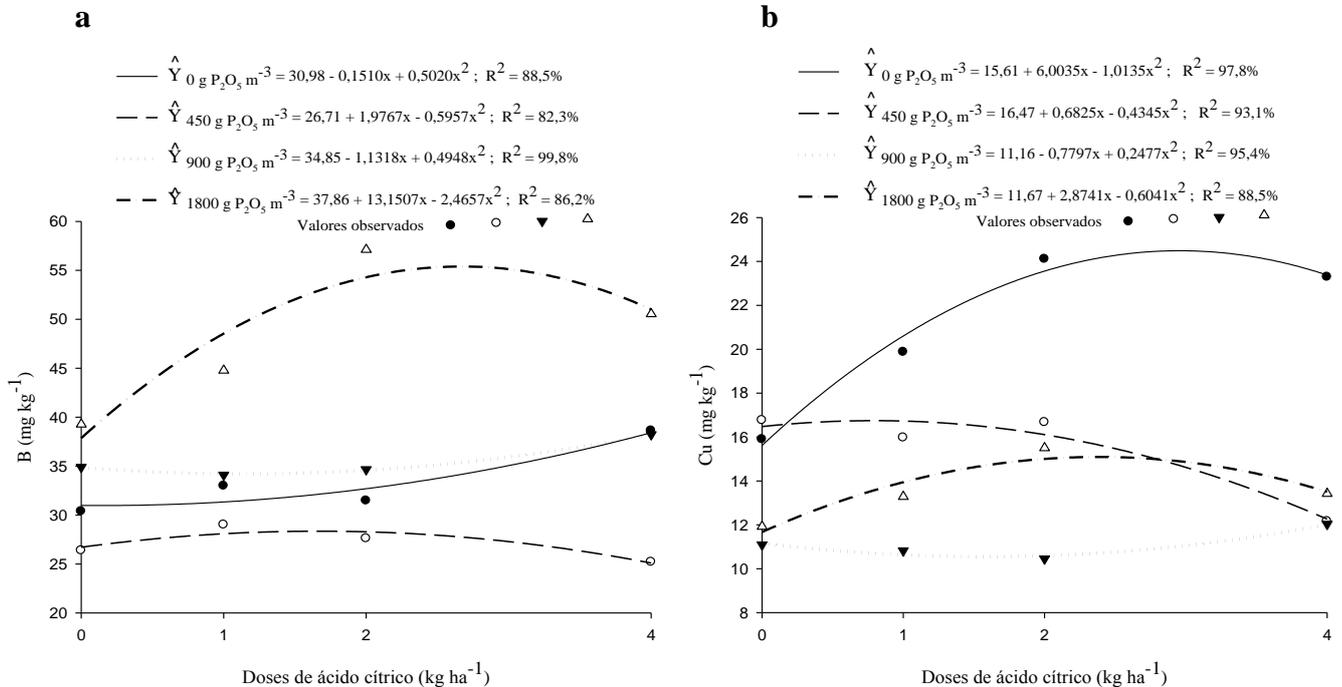


Figura 7 - Teores de boro (B) (a) e cobre (Cu) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Em substratos sem fósforo (0g de P₂O₅ m⁻³), o teor de ferro (Fe) na matéria seca das folhas reagiu de forma quadrática crescente com aumento de até 22,8% (Figura 8-a). Aumento este devido a complexação metálica exercida pelo ácido cítrico, que, atua descomplexando os sítios do ortofosfato com os oxi-hidróxidos de Fe, liberando o fosfato em solução (SILVA et al., 2005) e, liberando também na solução Fe complexado com o ácido cítrico (GUPPY et al. 2005) podendo este ser absorvido pelas plantas. Entretanto no substrato com 450g de P₂O₅ m⁻³ com aplicação de ácido cítrico seguiu modelo quadrático com uma pequena redução, passando de 189,54 mg kg⁻¹ e 191,07 mg kg⁻¹ para 178,68 mg kg⁻¹ e 187,78 mg kg⁻¹ na dose de 4 kg ha⁻¹, e ainda não atingiu a faixa crítica para o elemento em mudas de café (Tabela 3), podendo ser explicado pelo efeito diluição, devido a planta crescer rapidamente com a presença de fósforo no substrato.

Observa-se que a aplicação de ácido cítrico influenciou de forma quadrática o teor de zinco (Zn) nas mudas em todos os tratamentos, com exceção do substrato com dose de 450 g P₂O₅ m⁻³, pois não houve efeito significativo (Figura 8-b). Mantendo-se com um teor médio

de 19,27mg kg⁻¹. Entretanto, em substrato sem fósforo (0g P₂O₅ m⁻³) o aumento da dose de ácido cítrico promoveu uma elevação quadrática do teor de Zn na matéria seca das folhas atingindo o ponto de máximo teor foliar com 1,75 kg ha⁻¹ com 27,40 mg kg⁻¹, e posterior redução para 21,11 mg kg⁻¹ com a dose de 4 kg ha⁻¹. Corroborando, Jayarama et al. (1991) citado por Silva et al. (2005), notaram que o teor foliar de Zn em mudas de café se elevou com o aumento de doses de ácido cítrico. Por fim notou-se que, em todos os substratos incrementados com fósforo não tiveram aumento tão expressivo no teor de Zn foliar quanto o substrato controle (sem adição de fósforo mineral), devido ao fósforo ter efeito antagônico ao zinco na absorção pelas plantas (ABREU et al. 2007), apesar de todos os teores estarem acima da faixa crítica do nutriente nas folhas das mudas de café (Tabela 3).

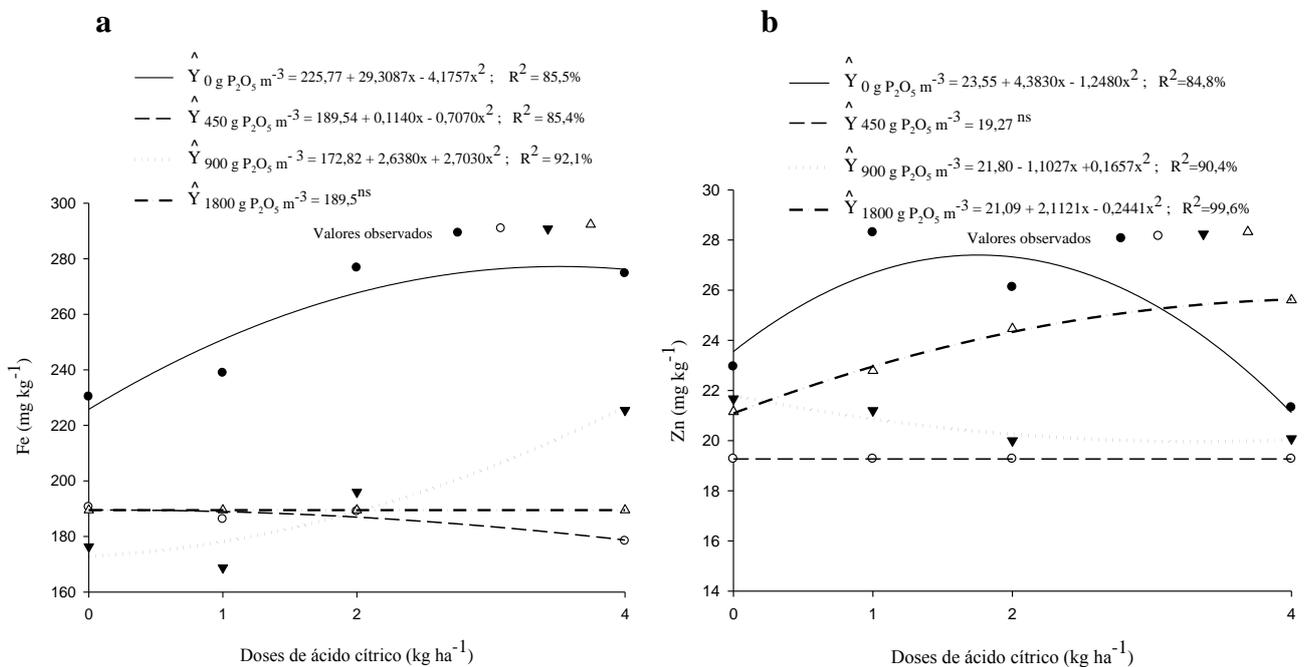


Figura 8 - Teores de ferro (Fe) (a) e zinco (Zn) (b) em folhas de café submetidas a diferentes doses de ácido cítrico em substratos com diferentes concentrações de fósforo, aos 180 dias após a semeadura (DAS).

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que a aplicação de 1 a 2 kg ha⁻¹ de ácido cítrico influencia positivamente no crescimento e na qualidade das mudas sobre as doses de fósforo padrão no substrato.

Com o aumento das doses de ácido cítrico no substrato com dose padrão de fósforo os teores de P e Zn nas mudas diminuem devido ao maior crescimento.

O ácido cítrico promove aumento nos teores foliares de Ca, N, P, S, Cu, Fe e Zn com doses “ótimas” variando de 1,6 a 4 kg ha⁻¹ em mudas implantadas em substrato sem fósforo adicionado, entretanto, não sendo efetivo para o desenvolvimento com qualidade das mesmas

até o ponto de plantio. Portanto, se torna necessário o estudo com parcelamentos das doses do ácido cítrico.

LITERATURA CITADA

ABREU, C.A. de; LOPES, A.S. & SANTOS, G.C.G. XI-Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ª edição, Viçosa-MG, 2007.

AGRIANUAL - **Anuário da Agricultura Brasileira** - São Paulo: FNP Consultoria & Comércio: Editora Argos, 2010, 520p.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **R. Bras.Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1003-1011. nov./dez., 2003.

ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Ann. Appl. Biol.**, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. Quarta estimativa, dez/2011. Brasília: CONAB, 2011.

CRUZ, C.A.F.; PAIVA, H.N.; GUERRERO, C.R.A. 2006. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cacas (*Samanea inopinata*(Harms) Ducke). **Revista Árvore**, 30: 537 – 546.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: SPI, 2006. 306p.

GONTIJO, R.A.N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 84p.Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

GONTIJO, R. A. N.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; ANDRADE, W. E. B. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 135-141, jul./dez. 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 289-302.

GUIMARAES, P.T.G. & REIS, T.H.P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P.R.; CUNHA, R. L. da (Eds.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: Epamig, 2010. cap. 6, p. 343-414.

GUIMARÃES, R. J. **Análise do crescimento e da quantificação de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), durante seus estádios de desenvolvimento em substrato padrão**. 1994. 113 p. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Austr. J. Soil Res.**, 43:189-202, 2005.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARANA, J.P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E.P. & KAINUMA, R.H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.39-45, jan-fev, 2008.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D.R. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Varginha: PROCAFÉ, 2005. 438p.
- MELO, B. ; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G.; DIAS, F. P. Substratos, fontes e doses de P₂O₅ na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Biosc. J.**; Uberlândia, v.19, n.2, p.35-44, May/Aug. 2003.
- NOGUEIRA, F.D.; **Bioativador de solo**. Brasil. PATENTE nº: PI0603427-6 A, 11 Dez. 2007.
- NOVAIS, R.F; SMYTH, T.J.& NUNES, F.N. VIII Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS,N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ª edição, Viçosa-MG, 2007.
- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A.; Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revisão de literatura. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:911-920, 2008
- SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O. TANURE, L.P.P.; FONSECA, P.G.; DUARTE, D.M. Influência da aplicação de fósforo e ácido cítrico no milho cultivado em Neossoloquartzarênico. In: FertBio,2008, Londrina PR **Anais** Londrina, 2008 (CD ROOM).
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G. Resposta do cafeeiro à aplicação de zinco e ácido cítrico no solo. In: **Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil**, 4, 2005, Londrina, PR. Anais...Londrina: Embrapa Café, 2005 (CDROOM).
- SILVA, E. M.; REZENDE, J.C. de; NOGUEIRA, A.M. & CARVALHO, G.R. Produção de mudas de cafeeiro. In: REIS, P.R.; CUNHA, R. L. da (Eds.). **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: Epamig, 2010. cap. 4, p. 223-282.
- SILVA, F.A.M.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G.; GODINHO, A.; MALTA, M.R.; Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na rizosfera de cafeeiro por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Ciênc. agrotec.**, Lavras. Edição Especial, p.1391-1395, dez., 2002.
- SOARES, L.T.; GUIMARÃES, P.T.G.; MALTA, M.R.; REIS, T.H.P.; PEREIRA, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Seleção prévia de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) mais adaptada a solos de baixa fertilidade pela identificação e quantificação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular exsudados na rizosfera. In: FertBio, 2008, Londrina PR **Anais**.....Londrina, 2008 (CD ROOM).

ARTIGO CIENTÍFICO II

CRESCIMENTO E ESTADO NUTRICIONAL DE CAFEEIROS SUBMETIDOS À APLICAÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO E FÓSFORO NO PLANTIO

Growth and nutritional status of coffee submitted the application of citric acid with and without phosphorus in the plant

RESUMO - Objetivou-se avaliar o desenvolvimento inicial e o estado nutricional de cafeeiros (*Coffea arabica*) submetidos à aplicação de ácido cítrico com e sem o uso de fósforo no plantio. Utilizou-se do esquema fatorial (2 x 4), sendo o primeiro fator para avaliar a dosagem normal e a ausência de fósforo na cova; e o segundo para avaliar o efeito de 0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹ de ácido cítrico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. As coletas dos dados nas plantas para análise foram aos 75 e aos 180 dias após aplicação do ácido cítrico (DAA), onde se determinou: altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, comprimento e volume radicular das plantas. Foram divididas em folhas, caules e raízes, colocadas pra secar a 60 °C, para determinação das matérias seca. Aos 75 e 180 DAA coletaram-se folhas (terceiro par) dos ramos plagiotrópicos, contidos na parte mediana das plantas para determinação do teor nutricional. As doses de ácido cítrico contidas no intervalo de 1,0 a 2,0 kg ha⁻¹ foram as que mais influenciaram positivamente o crescimento das plantas quando não se aplicou fósforo no plantio. A aplicação de ácido cítrico, quando usado o fósforo no plantio, causa diminuição no crescimento e nos teores de Ca, K e Fe das plantas aos 75 DAA. Os teores de Zn aos 75 DAA, e de Cu aos 180 DAA aumentam independentemente da adubação fosfatada no plantio.

Palavras-chave: ácidos orgânicos, *Coffea arabica*, desenvolvimento inicial, nutrição

ABSTRACT -The objective was to evaluate the initial development and nutritional status of coffee seedlings (*Coffea arabica*) submitted the application of citric acid with and without the use of phosphorus in the plant. The factorial (2 x 4) had been used, being the first factor to evaluate the normal dosage and the absence of phosphorus in the pit, and the other the effect of 0.0, 1.0, 2.0 and 4.0 kg ha⁻¹ of citric acid on the furrow. The experimental design was a randomized complete block with four replications. Data have been collected from the plants at the 75th and 180th days after the application of citric acid (DAA). There have been measured height, stem diameter, number of leaves, root length and volume and leaf area of plants. They were divided into leaves, stems and roots, weighed and placed to dry at 60o C until they reach constant weight for determination of dry matter of plants. At 75th and 180th DAA leaves (third

pair) of primary branches were collected, to evaluate the nutritional content of the plant. The dose from 1.0 to 2.0 kg ha⁻¹ of citric acid was the ones who most influencing growth when not used phosphorus in planting. The application when using phosphorus causes a decrease in the growth and Ca, K and Fe of plants at 75th DAA. Zn levels at 75th DAA, and Cu at 180th DAA increase regardless of P fertilization at planting.

Keywords: organic acids, *Coffea arabica*, development, nutrition, planting

INTRODUÇÃO

Dentre os principais problemas encontrados pelos cafeicultores, destaca-se o custo da adubação fosfatada em solos muito intemperizados, principalmente como os de Cerrado (MELO et al., 2005).

A cafeicultura brasileira tem expandido para solos originalmente sob vegetação de Cerrado, os quais são extremamente pobres em fósforo (P) disponível. Nestas condições são necessárias dosagens elevadas de fertilizantes fosfatados por ocasião do plantio, mas são extraídas pelas plantas quantidades relativamente pequenas de P, indicando que grande parte dos fosfatos adicionados estaria indisponível para o cafeeiro em crescimento (MELO et al., 2005). Nessas condições, a adubação fosfatada assume papel importante e ao mesmo tempo limitada no sistema de produção cafeeira implantado em “solo de Cerrado”.

Ultimamente cafeicultores foram estimulados pelas altas no valor da saca de café no mercado, e que, somente no ano de 2011 teve-se um aumento de 4,3% de lavouras em formação, o que gerou uma demanda de mais de 10,49 milhões de novas covas plantadas em relação ao ano de 2010 (CONAB, 2011). Necessitando assim de uma maior quantidade de insumos para plantio, dentre eles, as fontes fosfatadas, como o fosfato solúvel.

Entre as possíveis alternativas que podem minimizar a utilização de fertilizantes e ou corrigir os desbalanços nutricionais no solo, se destacam o uso de matéria orgânica (FALCO, 1999; GUIMARÃES & REIS, 2010) como: esterco de galinha, de curral e outros. Entretanto, estes autores demonstraram também que, quando os atributos químicos do solo estão equilibrados o uso da matéria orgânica na implantação da lavoura cafeeira pode ser dispensada, pois, esta tem alto custo em seu transporte a longas distâncias e algumas fontes são de elevado custo (FALCO, 1999).

Na busca de melhorar a eficiência dos fertilizantes no solo, mantendo o balanço nutricional das plantas (GUPPY et al. 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; SILVA et al.,

2005, SOARES et al., 2008) demonstram que os ácidos orgânicos apresentam aumento na eficiência na utilização dos nutrientes quando aplicados no solo.

Os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, possuem grupos carboxílicos que tem facilidade de se dissociar em ampla faixa de pH do solo, fazendo com que forme complexos solúveis com cátions metálicos (RAGHOTHAMA & KARTHIKEYAN, 2005) e estes podem favorecer a competição entre P e ácidos orgânicos, reduzindo a quantidade de fósforo ligado as cargas do solo, e disponibilizando maior quantidade para as plantas (SILVA et al., 2008). Em trabalho apresentado por Andrade et al. (2003) evidenciaram-se que, de modo geral, há uma redução na complexação do fósforo nas cargas do solo com o aumento das doses de ácidos cítrico, e, este promove uma maior concentração de fosfato na solução do solo. Segundo Silva et al. (2008) devido as características apresentadas pelo ácido cítrico, a sua aplicação no solo pode melhorar o aproveitamento do P pelas culturas, sendo uma alternativa para a redução das quantidades aplicadas desse nutriente e diminuir o custo de produção.

Diversos estudos têm evidenciado os benefícios e as dosagens utilizadas de ácido cítrico em: milho com a dose 1,2 kg ha⁻¹ (SILVA et al., 2008); feijão com a dose 2,66 kg ha⁻¹ (FRANCO et al., 2009) e em cafeeiros em produção com 2,7 kg ha⁻¹ no Sul de Minas (SILVA et al., 2005) e 1,3 kg ha⁻¹ no Alto Paranaíba (LEMOS et al., 2010). Contudo, há carência de pesquisas que elucidam os efeitos do ácido cítrico sobre o crescimento inicial das plantas de café.

Para uma implantação da lavoura com baixo custo, a utilização do ácido cítrico se torna uma possibilidade interessante, pois, pode aumentar a eficiência na utilização dos fertilizantes, diminuindo a quantidade utilizada e garantindo o adequado desenvolvimento dos cafeeiros com um mínimo de aplicação de fósforo na cova. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento inicial e o estado nutricional de cafeeiros (*Coffea arabica*) submetidos a aplicação de ácido cítrico na presença e ausência de adubação fosfatada.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 (*Coffea arabica* L.) de porte baixo. As mudas foram produzidas por semeadura direta em sacolas de polietileno. O substrato destas, formado pela mistura de 300L de esterco de curral curtido, 0,5 kg de cloreto de potássio, 5,0 kg de superfosfato simples e 700L de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMBRAPA 2006) para cada metro cúbico de substrato (GUIMARÃES et al., 1999). No estágio de cinco pares de folhas completamente expandidas, as plantas foram transplantadas para vasos

contendo 14L de solo (LVd) peneirado. Para fornecimento de P_2O_5 , utilizou-se de superfosfato simples (100 g/vaso), exceto nos tratamentos controle, além de calcário dolomítico a fim de elevar a saturação de bases a 60% (GUIMARÃES et al., 1999). Os resultados das análises física e química do solo utilizados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico utilizado no experimento¹.

Análise granulométrica (dag kg ⁻¹)											
Areia		Silte		Argila		Classe textural					
38		6		56		Argilosa					
Análise química											
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	T	T	m	V
H ₂ O	mg dm ⁻³		.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....%	.....
6,1	0,7	25	1,7	0,5	0,0	3,7	2,3	2,3	6,0	2	38
P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	MO					
mg L ⁻¹	..... mg dm ⁻³					dag kg ⁻¹					
7,3	0,94	75,3	7,8	0,75	0,1	1,0					

^{1/}Análises realizadas no Laboratório de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. pH água: Relação solo-água 1:2,5. P e K: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L⁻¹. T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. MO – Teor de matéria orgânica determinado pelo método da oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido multiplicado por 1,724.

Após o plantio das mudas, os vasos permaneceram na casa de vegetação, sob irrigação manual até a aplicação dos tratamentos. Adicionaram-se cloreto de potássio (31,48 g/vaso) e uréia (10 g/vaso) aos vasos, sendo parcelados aos 30 e 60 dias após o plantio (GUIMARÃES et al., 1999).

Utilizou-se do esquema fatorial (2 x 4), sendo o primeiro fator para avaliar a dosagem padrão e a ausência de fósforo na cova; e o segundo para avaliar o efeito de 0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹ (sendo um hectare equivalente a 2.000 m³ de solo) de ácido cítrico diluídas em água. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com uma muda de cafeeiro.

Aos quatro dias após o plantio, quando os cafeeiros apresentavam-se com cerca de 4 a 5 pares de folhas, realizou-se a aplicação de 220 mL de solução de ácido cítrico, seguindo os tratamentos por vaso. Foi realizada uma única aplicação de um produto comercial a base de Azoxystrobin na concentração de 4 g L⁻¹, aos 15 dias após o plantio. Não houve complementação com micronutrientes.

No dia da aplicação do ácido cítrico, aos 75 e aos 180 DAA determinaram-se a altura (cm), diâmetro do coleto (cm), número de folhas e área foliar (cm²) das plantas de café, sendo esta realizada de acordo com o método não destrutivo proposto por Antunes et al. (2008). Posteriormente, foram cortadas rentes ao solo, divididas em folhas, caules e raízes, pesadas e

colocadas em estufas a 65°C até atingirem massa constante, para determinação de matéria seca de caule (MSC), de folhas (MSF), de raízes (MSR) e total (MST) das plantas. Nas raízes determinou-se o comprimento (cm) e densidade radicular, medida através da razão entre matéria fresca das raízes e volume de água deslocado (g mL^{-1}).

Aos 75 e 180 DAA coletaram-se duas folhas completamente desenvolvidas (terceiro par a partir do ápice) de cada planta, sendo as mesmas retiradas de ramos plagiotrópicos inseridos na porção mediana da planta. Após secagem das amostras até atingirem massa constante, procedeu-se à moagem em moinho equipado com peneira fina (40 mesh), visando homogeneização do material. Após aferiu-se os teores de macro e micronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

Para a interpretação dos dados, empregou-se a análise de variância utilizando-se do teste F ($p \leq 0,05$). Efetuou-se o desdobramento da interação significativa, empregando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade para as comparações entre dosagem padrão e ausência de fósforo na cova e o efeito das dosagens de ácido cítrico, empregou-se estudo de regressão com escolha dos modelos baseada na sua significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis altura (cm), área foliar (cm^2), matéria seca de folhas e de caule (g) mensuradas aos 75 e 180 DAA, número de folhas, diâmetro do coleto (mm), comprimento de raiz (cm), matéria seca radicular e total (g), mensuradas aos 75 DAA, observou-se efeito significativo da interação entre os fatores testados (fósforo x ácido cítrico), sendo as mesmas desdobradas, estudando-se a dose padrão e sem adição de fósforo em cada dose de ácido cítrico. Para as demais características como densidade radicular (g mL^{-1}) aos 75 DAA, número de folhas e matéria seca radicular aos 180 DAA, houve efeito significativo somente das doses de ácido cítrico, exceto, para diâmetro do coleto, densidade radicular, comprimento radicular e matéria seca total aos 180 DAA que, não apresentaram diferenças após a aplicação do ácido cítrico, independentemente da aplicação ou não de fósforo na cova.

Aos 75 DAA os resultados demonstraram diferenças significativas na interação (fósforo x ácido cítrico) para as características de altura (Figura 1-a), número de folhas (Figura 2-a), área foliar acumulada (Figura 3-a), matéria seca de folhas (Figura 4-a), matéria seca de caule (Figura 5-a), matéria seca das raízes (Figura 6-a), diâmetro do coleto (Figura 7-a) e matéria seca total (Figura 8-b). De maneira geral todos seguiram tendência quadrática

com aumento das doses de ácido cítrico, quando aplicado em plantas sem fósforo na cova (OP), onde, houve incrementos nas variáveis: altura, número de folhas, área foliar, matéria seca de folhas, matéria seca de caule, matéria seca de raiz, diâmetro do coleto, matéria seca total com doses de 2,5; 2,0; 1,9; 2,3; 2,0; 4,0; 2,1; 2,6 kg ha⁻¹ com acréscimos de: 24,7%; 41,3%; 16,1%; 19,5%; 13,0%; 50,4%; 54,1%; 26,1% e posterior decréscimos, respectivamente. Corroborando, Jayarama et al. (1998) citado por Silva et al. (2002) observaram que a dose de 1,5 kg ha⁻¹ de ácido cítrico proporcionou maior crescimento de cafeeiros. O potencial da dose “ótima” de ácido cítrico em plantas de café no seu início de desenvolvimento sem adicionar fósforo na cova, sendo que estas aplicações promovem diferenças significativas aos 75 DAA quando comparadas a adubação fosfatada padrão nas variáveis: altura (1,0 kg ha⁻¹); número de folhas, área foliar, diâmetro do coleto; matéria seca total (2,0 kg ha⁻¹) e matéria seca de raiz (4 kg ha⁻¹).

Entretanto, quando realizada a adubação fosfatada padrão na cova (1P) seguido da aplicação das doses de ácido cítrico aos 75 DAA, ocorreu de maneira geral uma redução quadrática nas variáveis: número de folhas (Figura 2-a) área foliar acumulada (Figura 3-a), matéria seca de folhas (Figura 4-a), matéria seca de caule (Figura 5-a) e matéria seca total (Figura 8-b), onde se observou que a partir da dose de 1 kg ha⁻¹, provavelmente ocorreu um desbalanço nutricional e quedas no desenvolvimento das plantas, exceto, para diâmetro do coleto (Figura 6-a) e matéria seca de raízes (Figura 7-a), aos 75 DAA, que não responderam significativamente a aplicação do ácido orgânico. Contudo, na variável altura aos 75 DAA, observou-se um pequeno acréscimo de 9,0% com o ponto de máximo na dose de 1,4 kg ha⁻¹ e, posteriormente, chegando a quase 20,0% de redução em altura em relação ao controle (sem ácido cítrico). Corroborando, Jayarama et al. (1998b) citado por Silva et al. (2002) encontraram a melhor dose de 1 kg ha⁻¹ quando trabalharam com crescimento e produção do cafeeiro em campo, sendo a dose “ótima” determinada para sua área experimental. A adição demasiada no solo desses ácidos orgânicos de baixo peso molecular como o cítrico, aumenta a lixiviação das bases trocáveis (K, Ca e Mg), promovendo desequilíbrio de nutrientes minerais na solução do solo, prejudicando as culturas em determinadas concentrações, inclusive podendo promover a toxidez (GEBRIM et al. 2008).

Aos 75 DAA, verificou-se um comportamento não significativo do uso ou não de adubação fosfatada, contudo, a aplicação de ácido cítrico promoveu um crescimento exponencial na densidade radicular das plantas (Figura 7-b). A variável comprimento radicular respondeu de forma diferenciada das demais, na ausência de adubação fosfatada na cova, houve tendência exponencial negativa, com decréscimo de quase 30,0% na dose de 4,0

kg ha⁻¹, quando comparada com a testemunha (Figura 8-a). Zhu et al. (2001) que descreveram que, quando há deficiência de P no solo, as plantas privilegiam o crescimento das raízes e, por isso, algumas raízes secretam ácidos orgânicos que acidificam a rizosfera e quelatizam íons metálicos, o que contribui para a absorção de P. Neste caso, os ácidos orgânicos provavelmente foram os promotores da absorção de fósforo pelas raízes, sendo assim, desnecessário o crescimento das mesmas.

Aos 180 DAA do ácido cítrico nas covas com fósforo (1P), observou-se decréscimo no acúmulo de área foliar (Figura 3-b), matéria seca de folhas (Figura 4-b) e de caule (Figura 5-b), verificou-se um comportamento linear negativo nas variáveis área foliar e matéria seca de caule, com reduções de 72,21 cm² e 0,462 g para cada quilograma de ácido cítrico aplicado, respectivamente. Observou-se baixo acúmulo de matéria seca nas folhas na dose de 4,0 kg ha⁻¹, promovendo redução de 10,0% em relação ao controle (sem adição de ácido cítrico). Entretanto, aos 180 DAA, na ausência de fósforo na cova, houve acréscimos de até 18,8% e 0,78% nas variáveis área foliar e matéria seca de folhas, onde, observou-se as doses máximas de 2,0 kg ha⁻¹ e 1,2 kg ha⁻¹ respectivamente. Para altura (Figura 1-b) e matéria seca de caule (Figura 5-b), aos 180 DAA, observou-se pequenos decréscimos com ponto mínimos de 2,5% e 2,3%, respectivamente, na dose de 4,0 kg ha⁻¹ sem fósforo na cova.

Todavia, aos 180 DAA de ácido cítrico, notou-se efeito significativo somente do ácido orgânico nas variáveis: número de folhas (Figura 2-b) e matéria seca de raízes (Figura 6-b). Presumindo-se que, a partir de 180 DAA, o ácido cítrico se degrada no solo, perdendo sua eficiência inicial (GUPPY et al., 2005), como observado nas variáveis aos 75 DAA, e, no entanto aos 180 DAA, o ácido cítrico exerce a mesma função da adubação fosfatada na cova, não diferindo-se estatisticamente com e sem fósforo na cova para estas variáveis.

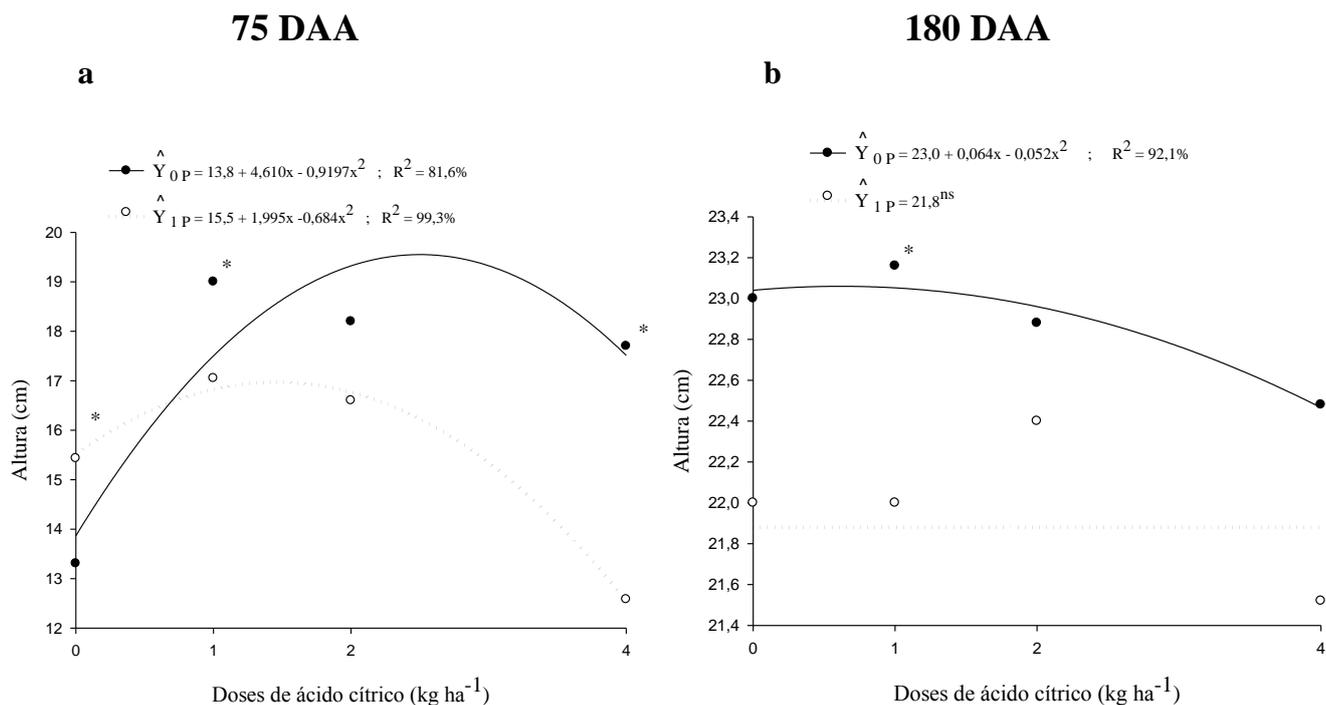


Figura 1 - Acúmulo da altura de planta aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

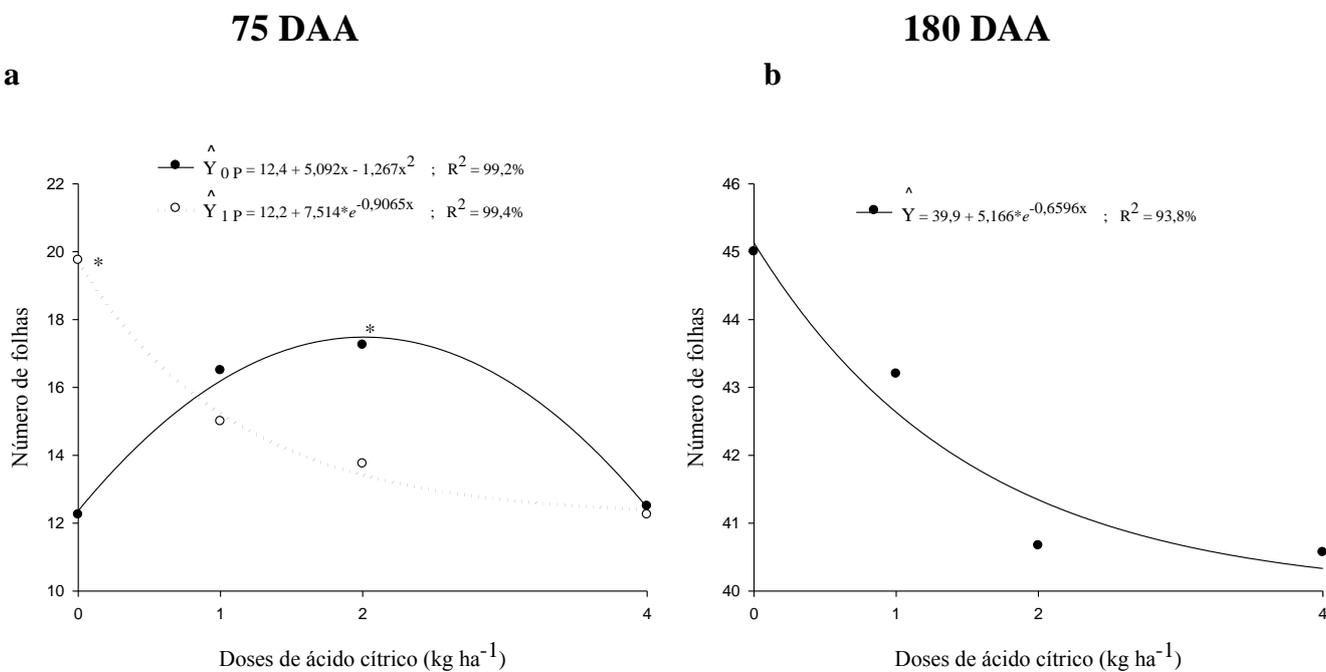


Figura 2 - Acúmulo do número de folhas aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

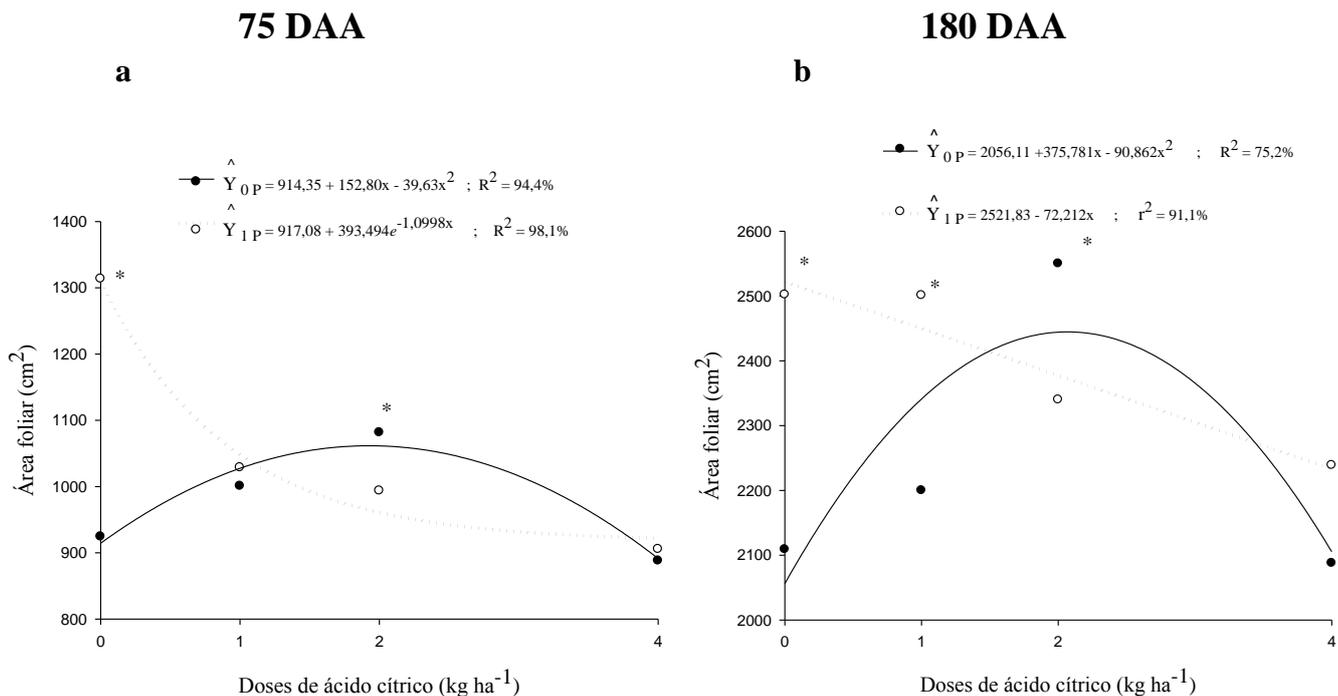


Figura 3 - Área foliar acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) **(a)** e aos 180 dias após aplicação (DAA) **(b)** de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

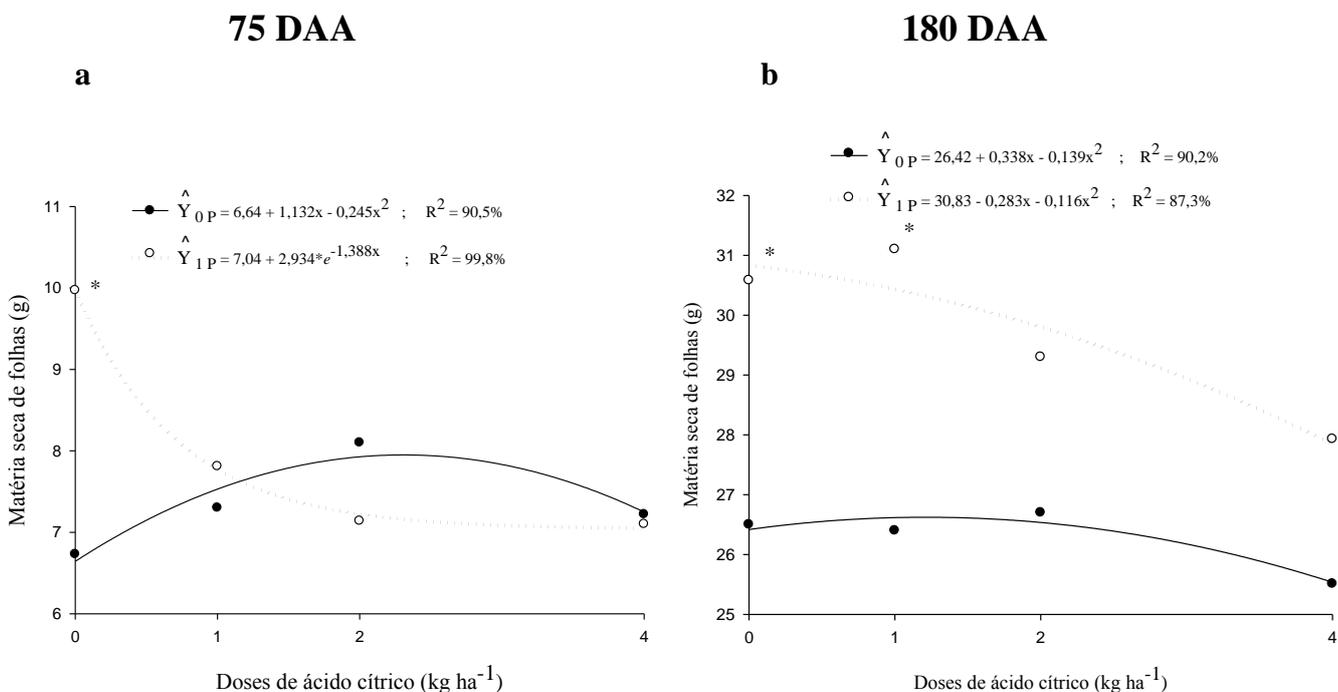


Figura 4 - Matéria seca de folhas acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) **(a)** e aos 180 dias após aplicação (DAA) **(b)** de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

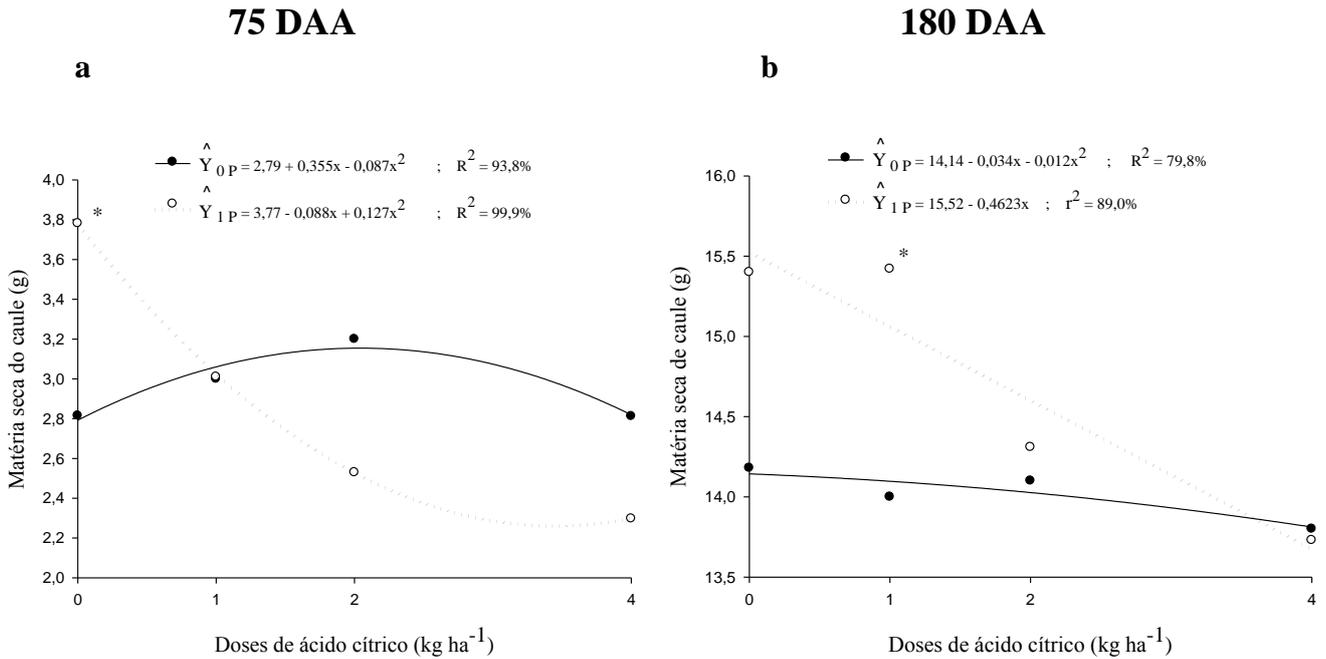


Figura 5 - Matéria seca de caule acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

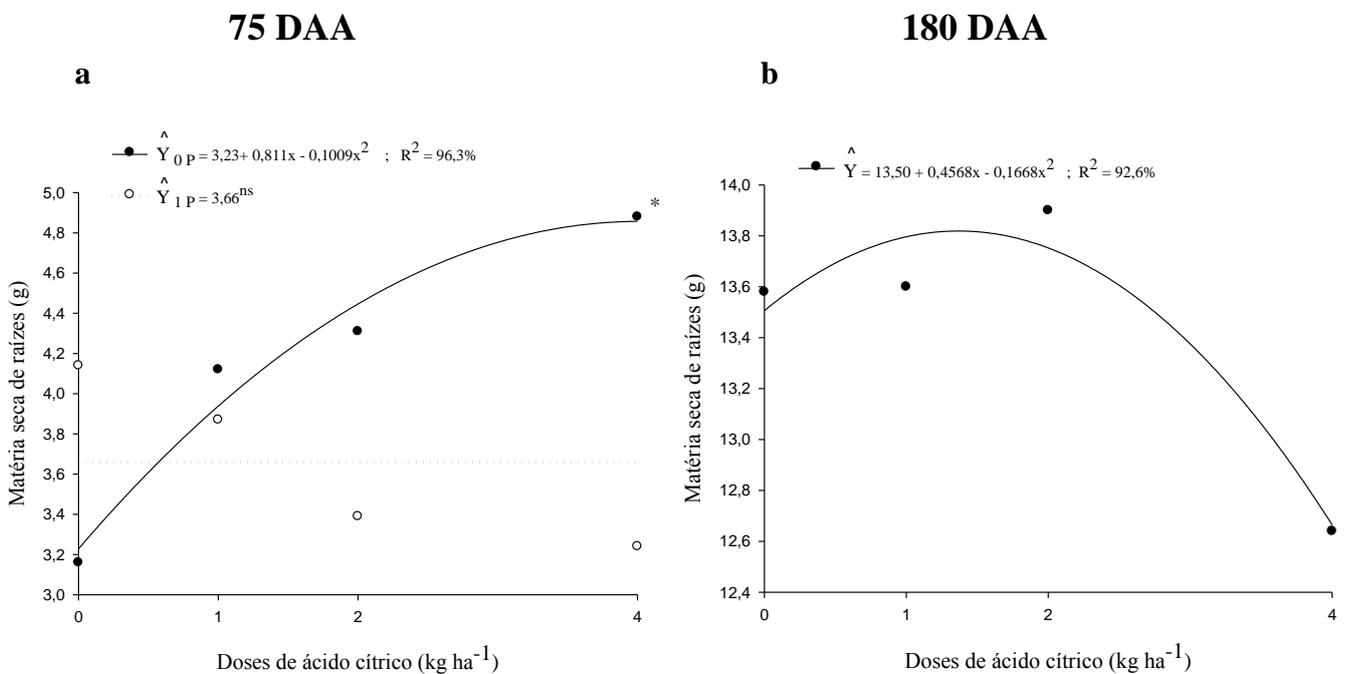


Figura 6 - Matéria seca de raízes acumulada aos 75 dias após aplicação (DAA) (a) e aos 180 dias após aplicação (DAA) (b) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

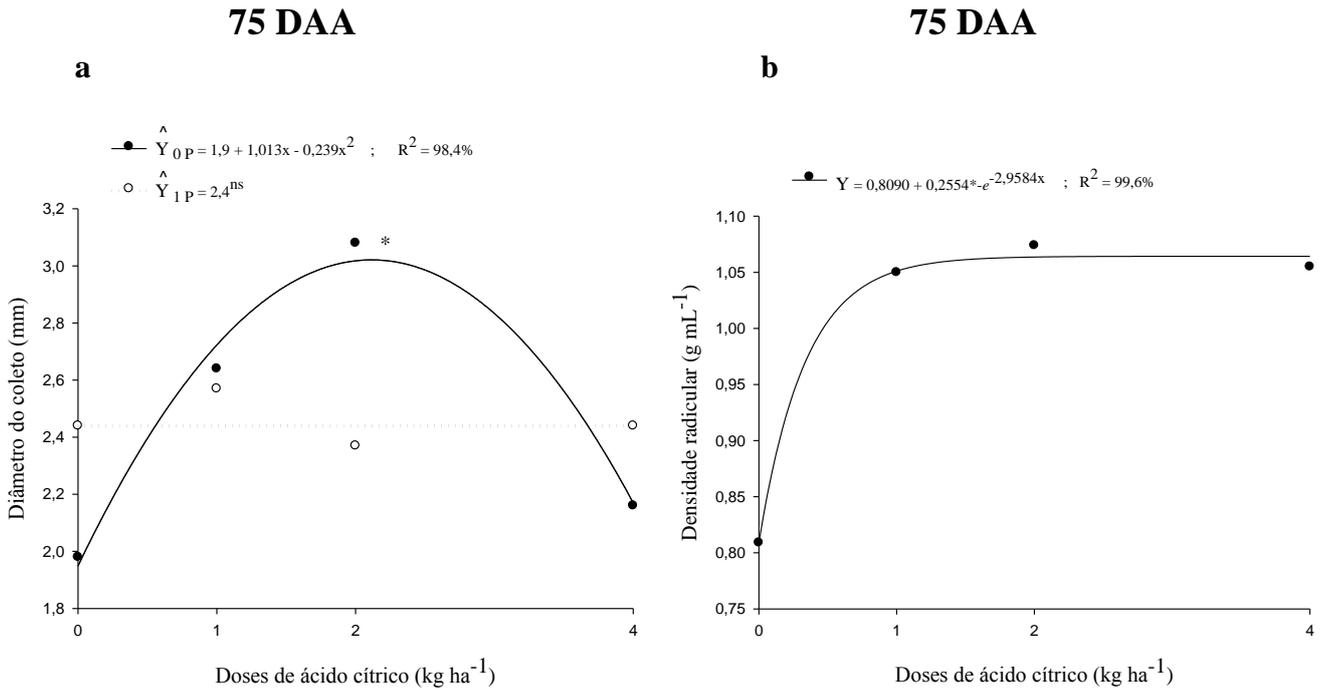


Figura 7 - Diâmetro do coleto (a) e densidade radicular (b) aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

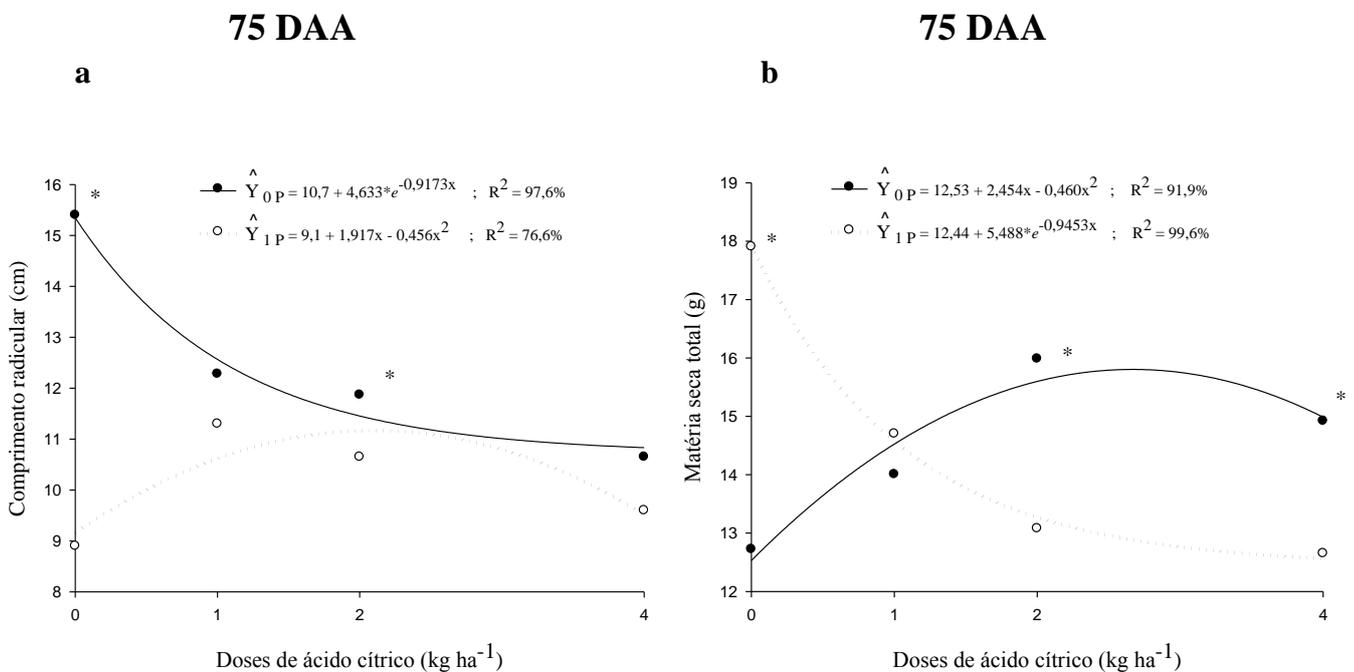


Figura 8 - Comprimento radicular (a) e matéria seca total (b) acumulados aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Quando se analisou os teores foliares de B e Zn aos 75 DAA, e os teores de Ca e Cu aos 180 DAA, observou-se que independentemente da adubação fosfatada de plantio, os teores desses nutrientes nas plantas de café foram influenciados pelas doses de ácido cítrico. Contudo, os teores de Ca, Mg, N, P, K, Cu e Fe, aos 75 DAA, e de Mg, P, B, Fe e Zn, aos 180 DAA foram dependentes da adubação fosfatada e da dose de ácido cítrico aplicada.

O aumento das doses de ácido cítrico reduziu os teores foliares de B aos 75 DAA, no entanto, nessa época, os teores foliares de Zn foram acrescidos, e ambos não se diferenciaram das aplicações fosfatadas na cova (Tabela 2). Houve acréscimo no teor foliar de B, atingindo um valor máximo de 3,7% com a dose 1,16 kg ha⁻¹ e um posterior decréscimo em relação ao controle de quase 19,0%, em relação a testemunha (0 kg ha⁻¹ AC). Todavia, o Zn aos 75 DAA demonstrou um decréscimo máximo de 9,0% com a dose 1,81 kg ha⁻¹, e posterior acréscimo de 3,3% em relação ao controle (sem aplicação de ácido cítrico), comportamento este, devido ao fósforo que, sendo liberado em solução com o aumento das doses de ácido cítrico tem efeito antagônico ao zinco na absorção pelas plantas (ABREU et al., 2007), e, com o aumento das doses do ácido orgânico, ocorre um provável desbalanço de nutrientes aos 75 DAA, com diminuição no teor de P (Figura 11-a) e uma maior absorção de Zn pelas plantas. Apesar de ocorrer efeito antagônico, todos os teores de Zn estiveram acima da faixa crítica do nutriente nas folhas das plantas de café (Tabela 3).

Aos 180 DAA, o aumento das doses de ácido cítrico promoveu diferentes comportamentos nos teores de Ca e Cu, e, seus teores não se diferenciaram com e sem adubação fosfatada na cova, apesar da mesma ser fonte também de cálcio (Tabela 2). A curva do Ca demonstrou uma tendência crescente máxima com a dose 1,4 kg ha⁻¹ com acréscimo no teor de 9,7% e posterior redução de quase 21,0% com a dose de 4,0kg ha⁻¹ de ácido cítrico. O Cu teve um comportamento inverso do Ca, com uma tendência de redução de quase 4,0% com a dose 1,0 kg ha⁻¹ e, com o aumento das doses de ácido cítrico, atingiu 25,7% de acréscimo em teor foliar (Tabela 2). Corroborando com Pegoraro et al.,(2005) que notaram que a presença de ácidos orgânicos de baixo peso molecular como o citrato (ou ácido cítrico) foram capazes de formar complexos com Cu, e favorecer sua difusão no solo. Todavia, o Cu tem efeito antagônico de absorção com o Ca (MALAVOLTA, 2006) e, estes dois elementos se encontram abaixo de suas faixas críticas respectivas (Tabela 3).

Tabela 2 - Equações referentes aos teores de nutrientes em folhas de plantas de café (Y) submetidas a diferentes doses de ácido cítrico (x), aos 75 e 180 dias após aplicação (DAA).

Nutriente		Equações	R ²
75 DAA			
S	g kg ⁻¹	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,48$	--
B	g kg ⁻¹	$\hat{Y} = 39,69 + 2,526x - 1,088x^2$	0,86*
Mn	mg kg ⁻¹	$\hat{Y} = \bar{Y} = 170,2$	--
Zn	mg kg ⁻¹	$\hat{Y} = 21,499 - 1,775x + 0,488x^2$	0,99*
180 DAA			
Ca	g kg ⁻¹	$\hat{Y} = 8,80 + 1,198x - 0,414x^2$	0,92*
N	g kg ⁻¹	$\hat{Y} = \bar{Y} = 56,3$	--
K	g kg ⁻¹	$\hat{Y} = \bar{Y} = 42,5$	--
S	g kg ⁻¹	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,51$	--
Cu	mg kg ⁻¹	$\hat{Y} = 5,103 - 0,375x + 0,176x^2$	0,96*
Mn	mg kg ⁻¹	$\hat{Y} = \bar{Y} = 196,2$	--

* representa significância pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Tabela 3 - Faixas críticas de nutrientes nos tecidos foliares de plantas de café em pós-plantio^{1/}.

Macronutrientes	---g kg ⁻¹ ---	Micronutrientes	---mg kg ⁻¹ ---
N	19,24 – 23,16	B	12,42 – 18,54
P	1,14 – 1,21	Cu	12,40 – 18,54
K	17,39 – 19,02	Fe	424,89 – 457,31
Ca	12,70 – 14,11	Mn	127,17 – 178,67
Mg	8,26 – 8,97	Zn	11,51 – 11,92
S	1,49 – 1,77		

^{1/} Fonte: Clemente, (2005) e Clemente et al., (2008).

Aos 75 DAA de ácido cítrico, onde, não se aplicou fósforo na cova de plantio, observou-se um aumento de 0,765g kg⁻¹ nos teores de Ca foliar a cada quilograma de ácido cítrico aplicado, devido a formação de precipitados de Fe com o ácido orgânico, aumentando a disponibilidade do Ca para as plantas (Figura 9-a) e, observa-se ainda que com a dose de 4 kg ha⁻¹ atingiu a faixa crítica para o nutriente (Tabela 3). Com o uso da adubação fosfatada na cova, aos 75 DAA, se obteve acréscimos de 6,7% na dose máxima de 1,3 kg ha⁻¹ de ácido cítrico. E, houve uma posterior redução devido a um provável desbalanço nos nutrientes favorecidos pela ação do ácido cítrico. Os teores de N aos 75 DAA não demonstraram diferenças nas doses de ácido cítrico, quando se usou adubação fosfatada na cova (Figura 9-b). Entretanto, na mesma figura quando não se usou adubação na cova, observou-se uma redução de 2,913 g kg⁻¹ de N para cada quilograma de ácido cítrico aplicado. Redução explicada pelo efeito diluição do nutriente na planta, pois as mesmas se desenvolveram mais

com o aumento das doses de ácido cítrico e sem o uso de fósforo no plantio, aos 75 DAA (Figura 8-b).

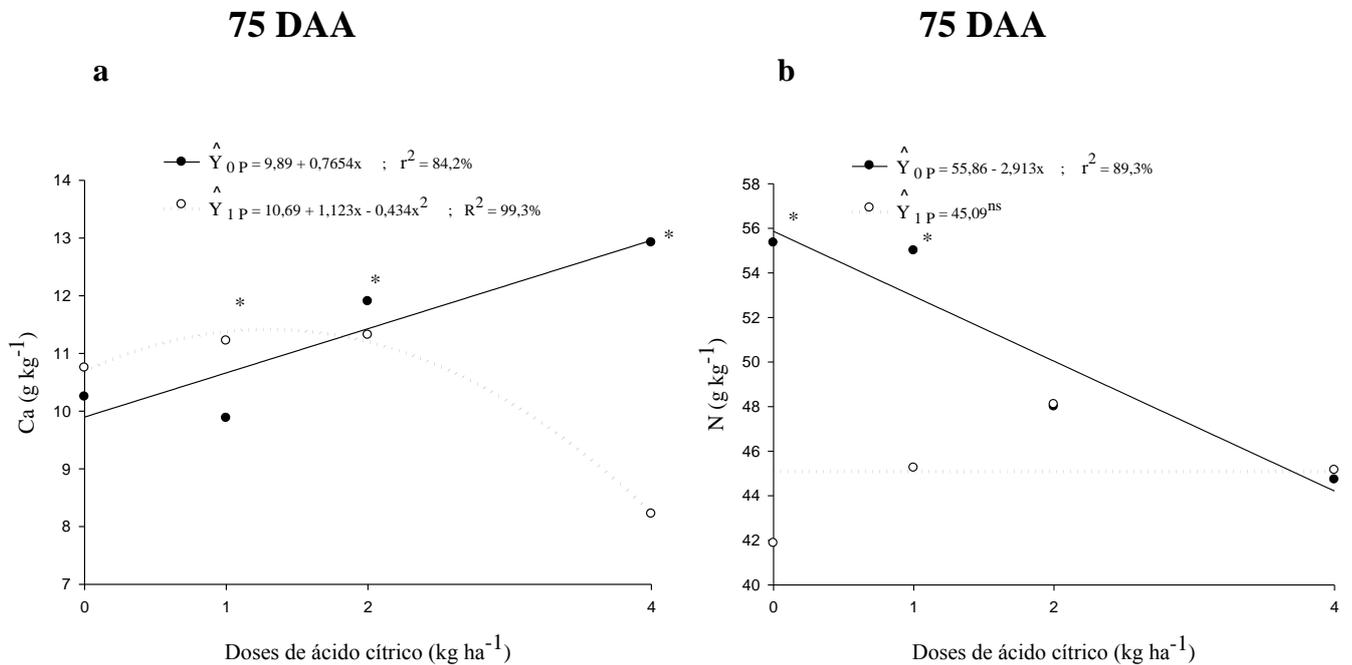


Figura 9 - Teores de cálcio (Ca) (a) e nitrogênio (N) (b) em folhas aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Nos teores de Mg, aos 75 DAA, notou-se aumento de quase 35,0% na curva no ponto de máximo com a dose de 2,13 kg ha^{-1} , quando não se usou fósforo no plantio (Figura 10-a). O incremento pode ser explicado pelo efeito sinérgico do P com o Mg (MALAVOLTA, 2006), e demonstrando diferença na dose de 1,0 kg ha^{-1} quando comparado com a adubação fosfatada, que, no caso foi inferior. Aos 180 DAA, na ausência de adubação fosfatada na cova, não se observou diferença nas doses de ácido cítrico aplicadas, no entanto, a dose 2,0 kg ha^{-1} foi superior do que o tratamento com adubação fosfatada (Figura 10-b). E, neste observou-se redução nos teores de Mg com as doses de ácido cítrico, pois geralmente este ácido orgânico é capaz de formar complexos solúveis, estimulando a movimentação de cátions básicos como o Ca e Mg em profundidade (FRANCHINI et al., 2003). Os teores de Mg tanto aos 75 quanto aos 180 DAA foram menores que a faixa crítica para o nutriente (Tabela 4).

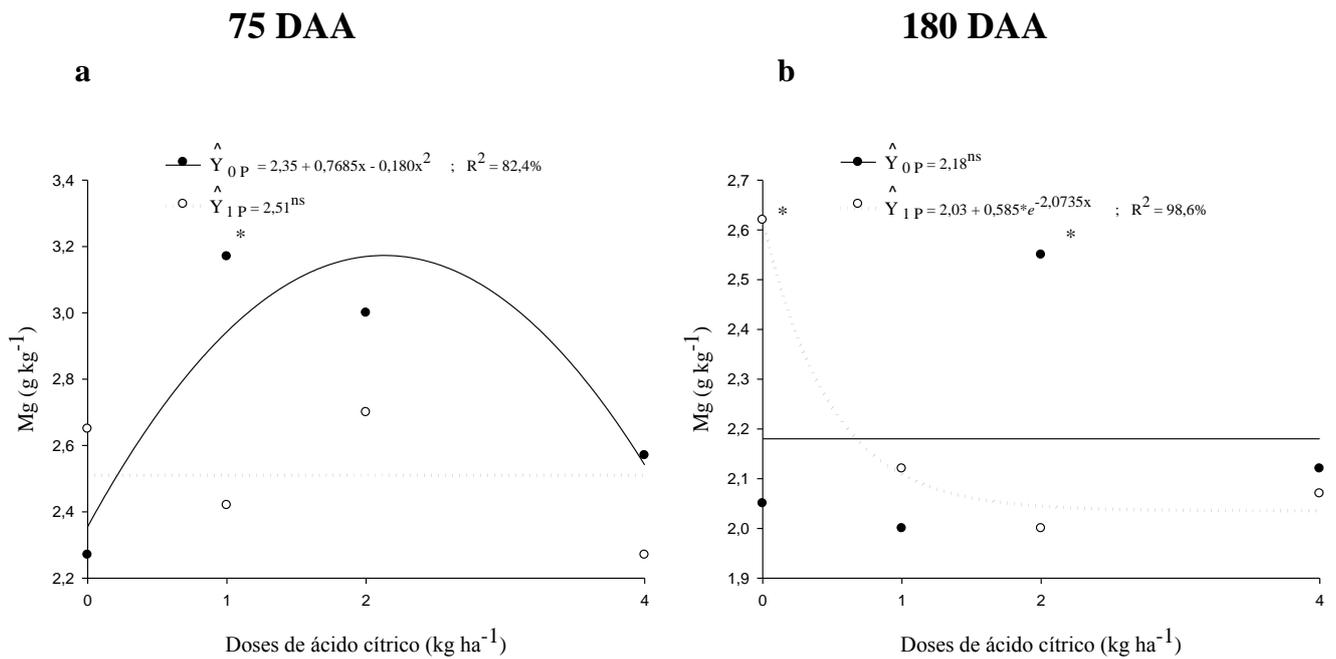


Figura 10 - Teores de magnésio (Mg) aos 75 DAA (a) e aos 180 DAA (b) em folhas de cafeeiros submetidas a aplicação de ácido cítrico, com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Aos 75 DAA, o teor de P aumentou 15,2% na dose máxima de 1,7 $kg\ ha^{-1}$ em relação ao tratamento sem aplicação de ácido cítrico e, diferenciaram-se nas doses 1,0 e 2,0 $kg\ ha^{-1}$ do tratamento sem adição de fósforo (Figura 11-a). Todavia, houve uma posterior redução no teor de P devido a um possível desequilíbrio causado pelo ácido cítrico no solo, relatados também por Pavinato & Rosolem (2008) que consideraram que quanto maior a concentração de ácido orgânico, maior a eficiência de competir nos sítios de cargas do solo (CTC e CTA do solo), reduzir a adsorção de P e, causar desbalanço nas mesmas (GEBRIM et al., 2008) e, por consequência, menor absorção pelas plantas. Aos 180 DAA, sem adição de fósforo na cova, os teores foliares de P aumentaram, com o aumento das doses de ácido cítrico, igualando-se estatisticamente na dose de 4,0 $kg\ ha^{-1}$ com os teores das plantas que receberam adubação na cova (Figura 11-b). Fato este, explicado pela maior concentração do ácido orgânico no solo (PAVINATO & ROSOLEM, 2008), no entanto, na mesma época não houve diferença significativa nos teores de P foliar dos tratamentos com fósforo na cova, quando se aumentou as doses de ácido cítrico.

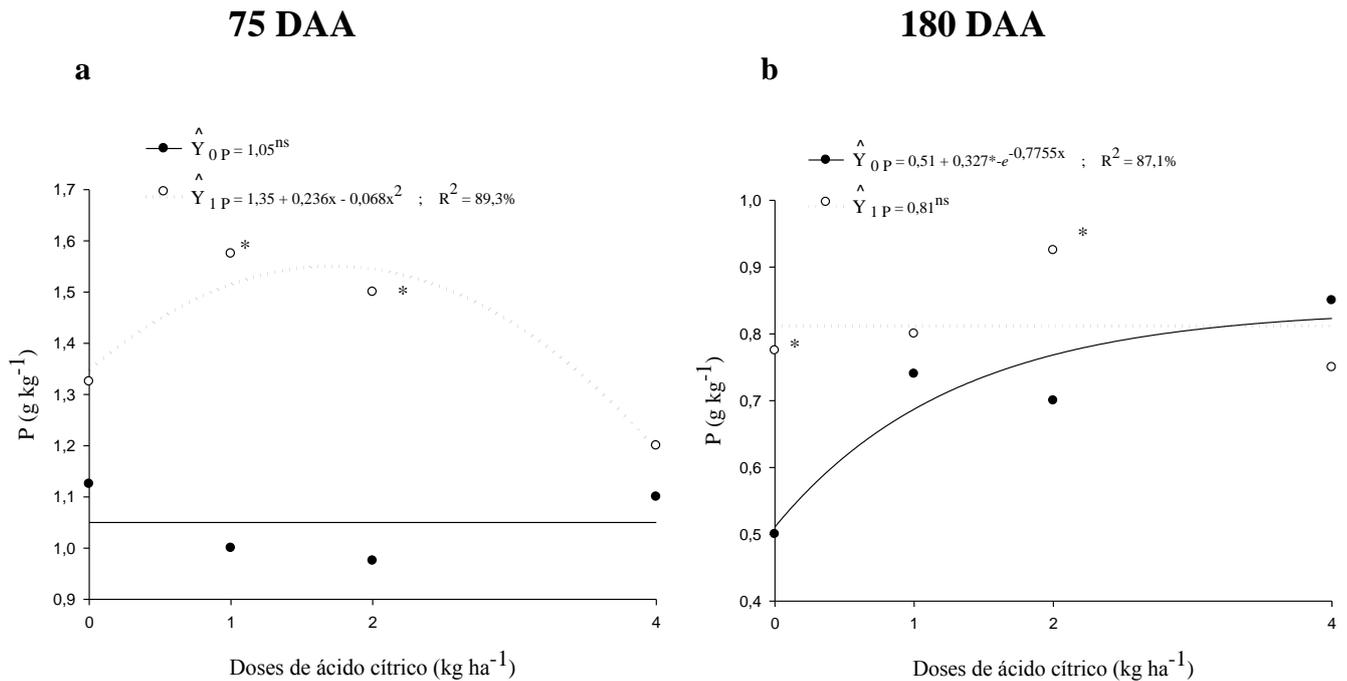


Figura 11 - Teores de fósforo (P) aos 75 DAA (a) e aos 180 DAA (b) em folhas de cafeeiros submetidas a aplicação de ácido cítrico, com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Os teores de K aos 75 DAA, com uso de fósforo na cova, demonstraram uma redução de 15,2% na dose mínima de 2,45 kg ha⁻¹ com valor de 22,1 g kg⁻¹ (Figura 12-a). Segundo Gebrim et al. (2008) a adição do ácido cítrico em concentrações acima das ideais, pode vir a aumentar a lixiviação das bases trocáveis no solo, como é o caso do K, e, conseqüentemente seu teor diminui nas plantas. Quando não se aplicou fósforo no plantio, não houve diferença entre as doses de ácido cítrico. Todavia, aos 75 DAA, todos os teores dos tratamentos ficaram acima da faixa crítica para este nutriente (Tabela 3).

Observando-se os teores de Cu aos 75 DAA, nota-se que, tanto com e sem fósforo na cova de plantio, os teores tiveram reduções de 19,7% e 31,6% com as doses mínimas de 2,1 kg ha⁻¹ e 2,7 kg ha⁻¹ de ácido cítrico respectivamente (Figura 12-b). Reduções explicadas pelo efeito diluição no crescimento das plantas e/ou pelo efeito antagonico com os teores de Ca, pois enquanto um aumentou (Figura 9-a), o outro diminuiu (Figura 12-b). Enquanto na dose de 4,0 kg ha⁻¹ volta a aumentar o teor foliar de Cu, devido ao maior resíduo desta dose e, esta formar um complexo mais forte com este elemento, facilitando a sua difusão no solo (PEGORARO et al., 2005).

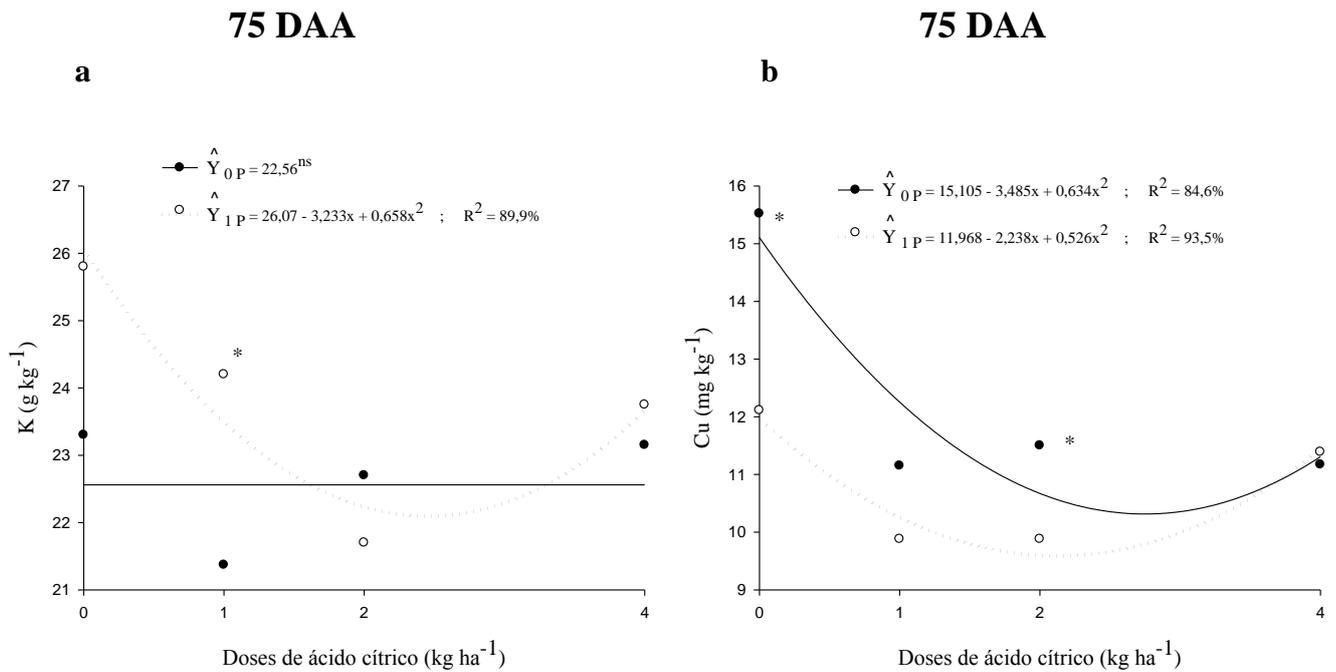


Figura 12 - Teores de potássio (K) (a) e cobre (Cu) (b) em folhas aos 75 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Para os teores de Fe, aos 75 DAA, não se observou efeito significativo da aplicação de ácido cítrico quando não realizada a adubação fosfatada de plantio (Figura 13-a). Todavia, quando realizada no plantio, observou-se uma redução máxima de 23,5% com a dose de 2,27 kg ha⁻¹ de ácido cítrico e, posterior aumento. Este efeito é citado por Marchner (1995) que relata que altos teores de nutrientes como o de Ca (Figura 9-a) podem competir na absorção de Fe. Aos 180 DAA, os teores de Fe tiveram reduções de 7,3% e 4,1%, com as doses de 1,85kg ha⁻¹ e 1,57 kg ha⁻¹ de ácido cítrico com e sem adubação fosfatada no plantio, respectivamente (Figura 13-b). E, observou-se que os teores de Fe, quando usado fósforo na cova foram inferiores significativamente na dose de 2,0 kg ha⁻¹ comparado quando não se usou fósforo. Pois, a fonte utilizada na adubação fosfatada é também fonte de Ca (superfosfato simples) e este, em maior concentração no solo, promove uma competição com o Fe na absorção pelas plantas (MARCHNER, 1995). Todos os valores de Fe tanto aos 75 como aos 180 DAA foram abaixo da faixa crítica do nutriente (Tabela 3).

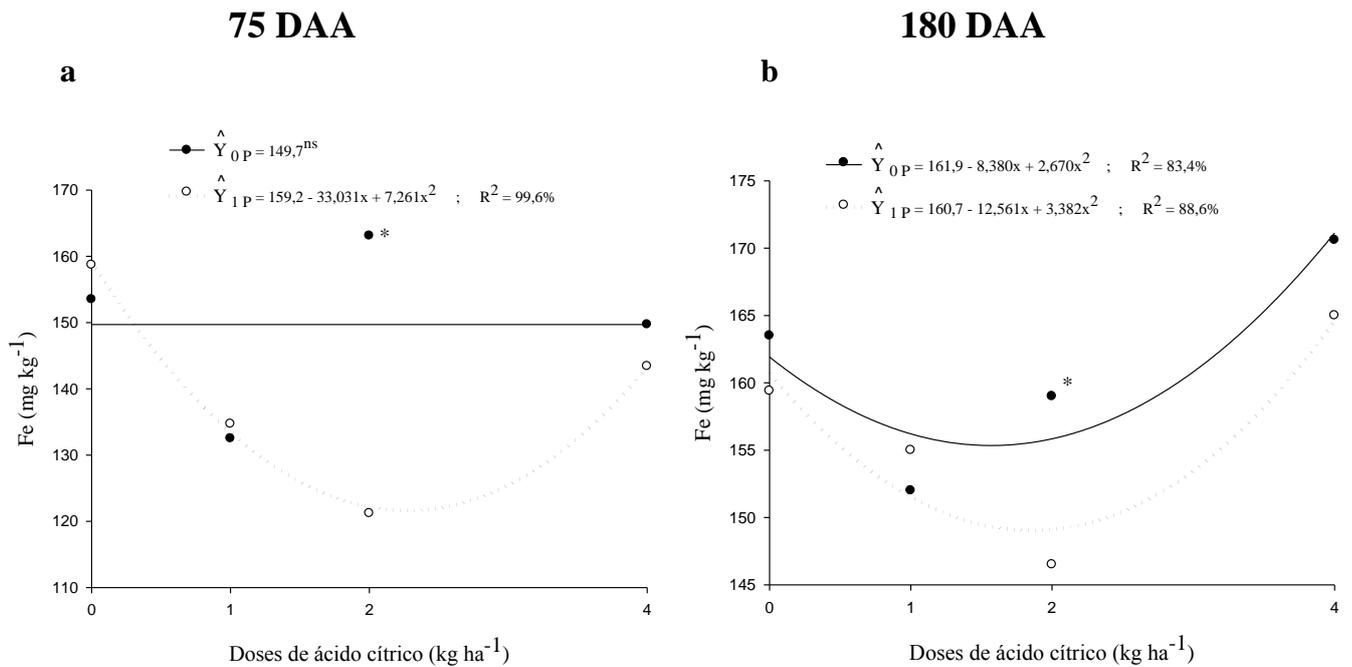


Figura 13 - Teores de ferro (Fe) aos 75 DAA (a) e aos 180 DAA (b) em folhas de cafeeiros submetidas a aplicação de ácido cítrico, com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Aos 180 DAA, os teores de B em plantas sem fósforo no plantio, demonstraram redução de até 31,0% com a dose de 4,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico, onde, a partir da dose de 1,0 kg ha⁻¹ os teores de B ficaram abaixo da faixa crítica do nutriente (Figura14-a). Todavia, quando se usou fósforo no plantio aos 180 DAA, os teores de B se elevaram com acréscimos de até 71,1% na dose de 4,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico. Entretanto, este efeito não é relado em trabalhos com ácido orgânicos no solo (GUPPY et al., 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; SILVA et al., 2005; SOARES et al., 2008).

Aos 180 DAA, os teores de Zn demonstraram acréscimo e redução com o aumento das doses de ácido cítrico, com e sem o uso no fósforo no plantio, respectivamente (Figura 14-b). Quando usado fósforo no plantio, houve aumento de 0,76 mg kg⁻¹ de Zn para cada quilograma de ácido cítrico aplicado, devido ao aumento da disponibilidade do nutriente promovido pelo ácido orgânico (GUPPY et al., 2005). Entretanto, sem o uso de fósforo no plantio, houve redução de 26,4% no teor de Zn com a dose no ponto de mínimode 2,6 kg ha⁻¹ de ácido cítrico, onde, possivelmente seu teor pode ter diminuído pelo efeito diluição do nutriente na planta. Todos os valores de Zn foliar, tanto com adubação fosfatada de plantio como sem o uso, foram acima da faixa crítica determinada para esta cultura neste estágio de crescimento (Tabela 3).

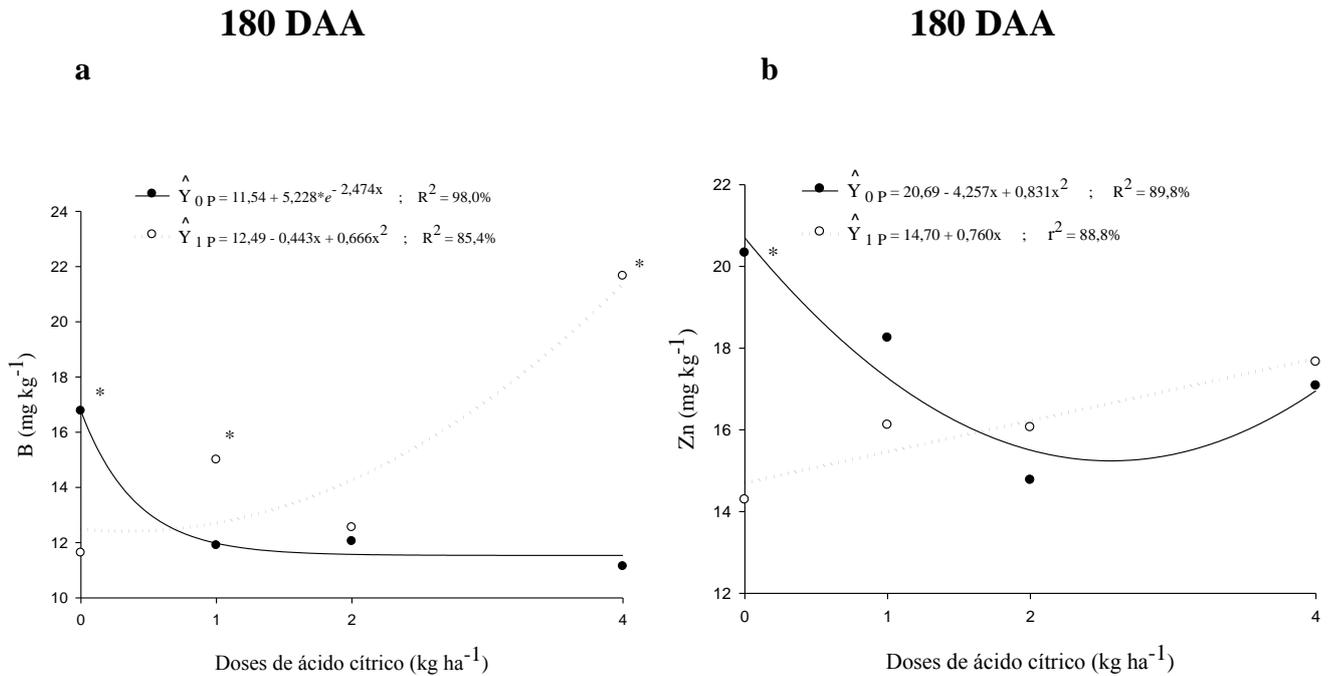


Figura 14 - Teores de boro (B) (a) e zinco (Zn) (b) em folhas aos 180 dias após aplicação (DAA) de ácido cítrico em cafeeiros com e sem adubação fosfatada no plantio (* significativo a 5% pelo teste Tukey).

Através dos resultados obtidos conclui-se que as doses entre 1,0 a 2,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico contribuem para o crescimento de cafeeiros até 75 dias após aplicação (DAA) sem o uso de adubação fosfatada na cova.

Na presença de adubação fosfatada de plantio as dosagens de ácido cítrico utilizadas não contribuem para o crescimento e melhoria das plantas.

Os teores foliares de B aos 75 DAA e Ca aos 180 DAA diminuem e, os de Zn aos 75 DAA, e de Cu aos 180 DAA aumentam independentemente da adubação fosfatada de plantio, sendo influenciados apenas pelas doses de ácido cítrico.

Os teores foliares de Ca e Mg aos 75 DAA, aumentam seus teores significativamente com o aumento das doses entre 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹, quando não se utiliza fósforo no plantio.

Os teores foliares de P e K aos 75 DAA tendem a se igualar ao teor das plantas que recebem fósforo no plantio, e, até esta época, não se é necessário o uso do mesmo no plantio.

LITERATURA CITADA

ABREU, C.A. de; LOPES, A.S. & SANTOS, G.C.G. XI-Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ª edição, Viçosa-MG, 2007.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1003-1011. nov./dez., 2003.

ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Ann. Appl. Biol.**, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.

CLEMENTE, F. M. V. T. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura.** 2005. 72 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

CLEMENTE, F. M. V. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano. **Coffee Sci.**, v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: SPI, 2006. 306p.

FALCO, L. **Fontes e doses de matéria orgânica na produção de mudas e na implantação de lavouras cafeeiras.** 1999. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMAN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Comm. SoilSci. Plant.**, 34:2045-2058, 2003.

FRANCO, B.A.H.; SILVA, E.B.; FREITAS, J.P.X.de; CARVALHO, F.P.; SOUZA, C.V. e RESENDE Jr, P.S. Influência da aplicação de ácido cítrico na produtividade e nos componentes de produção do feijoeiro cultivado em Neossolo Quartzarênico. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza CE **Anais...** Fortaleza, 2009 (CD ROOM).

GEBRIM, F.O.; RIBEIRO, S.I. ; FERREIRA, R.N.; VERGUITZ, L.; PROCÓPIO, L.,C. ; NUNES, T., N.; JESUS, G., L., . Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. **Rev. Bras. de Ci.do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2255, 2008.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. **Cafeeiro.** In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, 1999. p. 289-302.

GUIMARAES, P.T.G. & REIS, T.H.P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P.R.; CUNHA, R. L. da (Eds.). **Café Arábica do plantio à colheita.** Lavras: Epamig, 2010. cap. 6, p. 343-414.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Austr. J. Soil Res.**, 43:189-202, 2005.

LEMO, V.T.; SILVA, E.B.; FRANCO, B.A.H.; CARVALHO, V.C.; PEDROSA, C.E.; AZEVEDO, A.M.; RIBEIRO, R.C.; Influência da aplicação de ácido cítrico na produtividade do cafeeiro e nos atributos químicos do solo. In: FertBio,2010, Guarapari ES **Anais** Guarapari, 2010 (CD ROOM).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ceres, 2006. 631p.

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

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of hight plants**. 2. Ed. London, New York: Academic Press, 1995, 889p.

MELO, B. de; MARCUZZO, K.V.; TEODORO, R.E.F.; CARVALHO, H. de P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de Cerrado de Patrocínio – MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 315-321, mar./abr., 2005.

PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A.; Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revisão de literatura. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:911-920, 2008.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N. & FONSECA, F. Diffusive flux of cationic micronutrients in two Oxisols as affected by low molecular weight organic acids and cover crop residue. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 168:1-7, 2005.

RAGHOTHAMA, K.G. & KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. **Plant Soil**, 274:37-49, 2005.

SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O. TANURE, L.P.P.; FONSECA, P.G.; DUARTE, D.M. Influência da aplicação de fósforo e ácido cítrico no milho cultivado em Neossolo quartzarênico. In: FertBio, 2008, Londrina PR **Anais...** Londrina, 2008 (CD ROOM).

SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G. Resposta do cafeeiro à aplicação de zinco e ácido cítrico no solo. In: **Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil**, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: Embrapa Café, 2005 (CDROOM).

SILVA, F.A.M.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G.; GODINHO, A.; MALTA, M.R.; Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na rizosfera de cafeeiro por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Ciênc. agrotec.**, Lavras. Edição Especial, p.1391-1395, dez., 2002.

SOARES, L.T.; GUIMARÃES, P.T.G.; MALTA, M.R.; REIS, T.H.P.; PEREIRA, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Seleção prévia de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) mais adaptada a solos de baixa fertilidade pela identificação e quantificação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular exsudados na rizosfera. In Fert Bio, 2008, Londrina PR **Anais.....** Londrina, 2008 (CD ROOM).

ZHU, Y. G.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Zinc (Zn)-phosphorus (P) interations in two cultivars of spring wheat (*Triticuma estivum* L.) differing im P uptake efficiency. **Annals of Botany**, v. 88, p. 941-945, 2001.

ARTIGO CIENTÍFICO III

APLICAÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO EM CAFFEEIRO NO ALTO JEQUITINHONHA (MG): PRODUÇÃO E ESTADO NUTRICIONAL**RESUMO**

Objetivou-se avaliar a produtividade, o estado nutricional e as faixas críticas de nutrientes para cafeeiros durante três safras submetidas à aplicação de ácido cítrico na região do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Utilizou-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 (*Coffea arabica* L.) com sete anos, com uma planta por cova (3,8 x 0,7m). Os tratamentos constituíram-se de quatro doses de ácido cítrico (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹) aplicados em dose única abaixo da saia do cafeeiro em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico plúntico (PAD). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com duas repetições dos tratamentos em cada bloco com quatro blocos. Avaliaram-se a produtividade de grãos de café, os teores foliares de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) e estimou-se as faixas críticas destes nas folhas, em função de doses de ácido cítrico na média de três safras (2009/2010/2011). A produção de café foi influenciada positivamente quando se adicionou 1,2 e 2,4 kg ha⁻¹ de ácido cítrico para 90% da máxima e a máxima produção, com incrementos de 14,5 e 27,2% em produtividades, respectivamente. A aplicação do produto no solo aumentou a absorção de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn refletindo em maiores teores destes nutrientes. As faixas críticas dos nutrientes nas folhas em função das doses aplicadas de ácido cítrico foram: 0,14-0,15 dag kg⁻¹ para P; 3,12-3,21 dag kg⁻¹ para K; 1,14-1,18 dag kg⁻¹ para Ca; 0,16-0,18 dag kg⁻¹ para Mg; 0,27-0,23 dag kg⁻¹ para S; 61,8-57,4 mg kg⁻¹ para B; 48,1-55,8 mg kg⁻¹ para Cu; 86,3-91,6 mg kg⁻¹ para Fe; 87,8-93,6 mg kg⁻¹ para Mn; 49,1-60,0 mg kg⁻¹ para Zn.

Termos de indexação: ácidos orgânicos, *Coffea arabica*, produtividade, nutrição de plantas

SUMMARY: APPLICATION OF CITRIC ACID IN COFFEE PLANTS IN ALTO JEQUITINHONHA (MG): PROCDUTION AND CRITICAL RANGES OF NUTRIENTS IN THE LEAVES

The objective was to evaluate the influence of citric acid application on the soil, productivity, foliar nutrient content and to estimate their critical ranges in three crop years (2009/2010/2011) in the city of Diamantina (MG). Using the Catuaí Vermelho IAC-44

(*Coffea arabica* L.) seven years old, with one plant per hole (3.8 x 0.7 m). They were applied in a single dose under side of the plant, four doses of citric acid (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹) in a dystrophic Red-Yellow Plinthic Alfisol (DBP) (*Argissolo Vermelho Amarelo distrófico plíntico (PAd)*). The experimental design was randomized blocks with two replications of treatments in each block with four blocks. Were evaluated the productivity of coffee beans, foliar concentrations of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) and estimated the critical ranges of the leaves in function of doses of citric acid to an average of three harvests (2009/2010/2011). Coffee production was positively affected when added 1.2 and 2.4 kg ha⁻¹ of citric acid for 90% of the maximum and the maximum production, with increases of 14.5 and 27.2% in productivity. The application of the product in the soil increased the uptake rate of P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn, reflecting higher foliar these nutrients. The critical ranges of nutrients in the leaves as a function of the applied doses of citric acid, these being: 0.14 to 0.15 dag kg⁻¹ for P, 3.12 to 3.21 dag kg⁻¹ for K, 1.14 -1.18 dag kg⁻¹ for Ca, 0.16 to 0.18 dag kg⁻¹ for Mg, 0.27 to 0.23 dag kg⁻¹ for S, 61.8 to 57.4 mg kg⁻¹ to B, from 48.1 to 55.8 mg kg⁻¹ for Cu, 86.3 to 91.6 mg kg⁻¹ for Fe, 87.8 to 93.6 mg kg⁻¹ for Mn, 49.1 to 60 , 0 mg kg⁻¹ for Zn.

Index terms: organic acids, *Coffea arabica*, leaves, productivity, soil sustainability

INTRODUÇÃO

Minas Gerais produziu, para a safra de 2010/2011, 21,88 milhões de sacas de café, que correspondeu a 68,0% da produção nacional (CONAB, 2011). A região do Vale do Jequitinhonha apresenta economia baseada na agricultura de subsistência (milho, feijão, mandioca e café) e que, nos últimos 20 anos, houve aumento de pequenos cafeicultores, ocupando parcela significativa das áreas, obtendo produtividade média de 23,13 sacas ha⁻¹, média esta, maior que as 21,15 sacas ha⁻¹ nacionais, entretanto, pode ser considerada como uma região de média produtividade (CONAB, 2011).

Sabe-se que os cafezais brasileiros, até a década de 60, eram cultivados em áreas recém-desmatadas, com solos de média a alta fertilidade, com bons estoques de micronutrientes presentes na matéria orgânica. A partir dos anos 80, expandiram-se para solos de cerrado e campo que, na sua maior parte, são muito intemperizados e pobres em nutrientes, o que requer aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes, principalmente os fosfatados e micronutrientes (MELO et al., 2005). Dentre os micronutrientes usados no cafeeiro, o zinco

(Zn) é um dos mais limitantes. Com a perda da matéria orgânica do solo, o Zn torna-se fortemente adsorvido ou fixado pela argila ou complexado com outros minerais do solo, sendo que o cafeeiro não consegue absorvê-lo. Assim, a aplicação de Zn só é eficiente na correção do solo para cafeeiros em solos arenosos. Em solos argilosos não se obtêm bons resultados aplicando-o junto ao solo, devido à forte adsorção pelos colóides (SILVA et al., 2005).

Sabe-se que compostos hidrossolúveis como os ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AOBMM), tal como o ácido cítrico são capazes de formar complexos com Cu, Fe, Zn e Mn e favorecer sua difusão no solo (PEGORARO et al., 2005) tornando-os mais disponíveis as plantas. A habilidade desses AOBMM, principalmente o cítrico de formar complexos estáveis com formas Al^{+3} e Fe^{+3} na solução do solo (KOCHIAN et al., 2004; RAGHOTHAMA & KARTHIKEYAN, 2005), é outro fator importante a ser destacado. Em solos calcários, o ácido cítrico auxilia na liberação do P dos fosfatos de Ca. Geralmente, este composto é mais eficiente em aumentar a disponibilidade de P pelo bloqueio dos sítios de adsorção, tornando o P mais disponível (ANDRADE, 2004; GUPPY et al., 2005).

Em estudos realizados na Índia com aplicação de ácido cítrico via solo (JAYARAMA et al. 1998; citados por SILVA et al., 2005) em área cultivada com café, observou-se aumento nos teores de P, K e Zn no solo e 7% de incrementos em produtividade, sendo recomendado pelos autores uma dose “ótima” de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ do ácido orgânico misturado a formulação NPK utilizada para a fertilização da cultura.

Diversos estudos têm evidenciado os benefícios e as dosagens utilizadas de ácido cítrico em: milho com a dose $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (SILVA et al., 2008); feijão com a dose $2,66 \text{ kg ha}^{-1}$ (FRANCO et al., 2009); em cafeeiros em produção com $2,7 \text{ kg ha}^{-1}$ no Sul de Minas (SILVA et al., 2005) e $1,3 \text{ kg ha}^{-1}$ no Alto Paranaíba (LEMONS et al., 2010). Contudo, há carência de pesquisas que elucidam os efeitos do ácido cítrico e a dose “ótima” nos cafeeiros do Alto Jequitinhonha.

Todavia, a contribuição do ácido cítrico varia em função da dosagem aplicada, como relatada por Gebrim et al. (2008) que notaram que adição desse tipo de ácido em altas quantidades aumentou a lixiviação das bases trocáveis (K, Ca e Mg) do solo.

Sabe-se que a análise foliar dos tecidos é uma das mais importantes ferramentas para avaliação do estado nutricional das plantas, e permite verificar a eficiência dos adubos e relacionar a obtenção dos níveis de produtividades com os seus teores foliares (REIS JÚNIOR et al. 2002). Para uma adequada interpretação, é de fundamental importância a utilização de faixas críticas (FARNEZI et al., 2010) verificando a região de adequação, onde, há uma

resposta no crescimento da produção, proporcional ao crescimento da concentração, até se atingir uma concentração ótima (nível crítico), acima da qual não há mais resposta na produção.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produtividade, o estado nutricional e as faixas críticas de cafeeiros (*Coffea arabica*) durante três safras submetidas à aplicação de ácido cítrico na região do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando-se a cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 (*Coffea arabica* L.) de sete anos de idade, com uma planta por cova (3,8 x 0,7m), foi conduzido este experimento durante três safras na Fazenda Forquilha em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico plíntico (PAd) (EMBRAPA, 2006), fase Campo de Altitude em Diamantina-MG. A altitude do local de cultivo é de 1.219 m, a latitude de 18°31'31”S, a longitude é 43°51'19”W com uma precipitação pluviométrica média anual de 1.082 mm, e classificação climática Cwb.

As características químicas e físicas em amostras do solo coletadas na profundidade de 0-20 cm antes da montagem do experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Características químicas e físicas do solo antes da implantação do experimento na profundidade de 0 a 20 cm.

Solo ^{1/}	pH _{água}	P	K	Ca	Mg	Al	V	MO	Areia	Silte	Argila
		---mg dm ⁻³ ---	---cmol _c dm ⁻³ ----	%	%	-----dagdm ⁻³ -----					
PAd	5,6	6,3	108	3,2	1,1	0,2	42	3,4	56,0	18,0	26,0

pH_{água} – Relação solo-água 1:2,5; P e K – Extrator Mehlich-1; S-SO₄²⁻ – Extrator fosfato diácido de cálcio (Ca(H₂PO₄)₂); Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; V – Saturação em bases e MO – Teor de matéria orgânica determinado pelo método da oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido multiplicado por 1,724. PAd – Argissolo Vermelho Amarelo distrófico plíntico de Diamantina (EMBRAPA, 2006).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com duas repetições dos tratamentos por bloco com quatro blocos. Os tratamentos foram compostos por quatro doses de ácido cítrico (0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹) aplicados em dose única debaixo da saia da planta com um volume de calda de 400 L ha⁻¹ em dezembro de 2008, 2009 e 2010 na área. A parcela experimental foi constituída de quatro linhas de doze plantas, formando um total de quarenta e oito plantas por parcela, sendo a parcela útil constituída pelas oito plantas centrais.

As adubações de NPK e micronutrientes foram recomendadas para lavoura de acordo com a capacidade média produtiva (histórico) e idade, segundo Guimarães et al. (1999). As

adubações foram parceladas em três vezes iguais (outubro, dezembro e janeiro), na qual em novembro, dezembro e janeiro, o experimento recebeu pulverização foliar de ácido bórico a 3 g L⁻¹ e sulfato de zinco a 5 g L⁻¹, para evitar deficiências de B e Zn, respectivamente. Os tratamentos culturais foram os recomendados para cultura do cafeeiro (PAULA JÚNIOR & VENZON, 2007).

Avaliou-se a produção de grãos das oito plantas úteis, colhidas por derriça no pano, quando apresentaram, aproximadamente, 5% de frutos verdes. Depois de colhidas, as amostras foram secadas em terreiro cimentado, pesadas e beneficiadas. A quantidade de café beneficiado, por parcela útil, foi convertida em produção de sacas de 60 kg por hectare, sendo avaliadas as safras do triênio de 2009/2010/2011 do local de cultivo.

Após a colheita do cafeeiro foi retirada amostras para as determinações dos teores foliares de macro e micronutrientes colhendo-se o terceiro e quarto pares de folhas, a partir das pontas dos ramos laterais inseridos na altura média da planta, por parcela útil (Malavolta, 1992).

Os teores de N nas folhas foi determinado por micro Kjeldahl (digestão sulfúrica), segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados os teores totais de P por colorimetria; o K por fotometria de chama; os de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica e os de S total por turbidimetria (MALAVOLTA et al., 1997).

As variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão, cujas equações foram ajustadas à produção de café beneficiado, média de três safras, em função das doses das fontes de ácido cítrico aplicadas, na área experimental. A partir das equações obtidas, estimaram-se as doses para 90 e 100% da produção máxima de grãos de café.

As faixas críticas de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn nas folhas, foram estimadas, substituindo-se as doses de ácido cítrico necessárias para obter 90 e 100% da produção máxima, nas equações que relacionam as doses do ácido orgânico aplicado com seus teores dos nutrientes nas folhas para o local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produtividade de café beneficiado

A análise de variância para a produção de café beneficiado mostrou que as doses de ácido cítrico aplicadas no solo influenciaram significativamente essa variável ($P < 0,05$). As

equações quadráticas foram as que melhor se ajustaram à produção média, de três safras, e de cada ano de produção de grãos de café para todas as doses de ácido cítrico no solo (Figura 1).

Na safra de 2009 (primeira safra) observou-se maior produtividade nas dosagens entre 2,0 e 4,0 kg de ácido cítrico por hectare, com valores de 27,5 e 27,3 sacas ha^{-1} , respectivamente (Figura 1), atingindo a produtividade máxima de 28,2 sacas ha^{-1} com a dose de 3,0 kg ha^{-1} de ácido cítrico aplicado ao solo com incrementos de 30% (6,43 sacas ha^{-1}), em relação ao controle (0kg ha^{-1}).

Em 2010 (segunda safra) a safra foi elevada, como consequência, os ganhos chegam a 36,4% (11,2 sacas ha^{-1}) com a dose de 2,8 kg ha^{-1} de ácido cítrico.

A produtividade máxima de grãos de café de 49,6 sacas ha^{-1} foi alcançada com a dose de 1,8 kg ha^{-1} de ácido cítrico na safra de 2011 (terceira safra), com incrementos de 18,6%. E com o aumento das doses de ácido cítrico, notaram-se decréscimos de 7,3% na produção em relação ao controle (sem ácido cítrico). Corroborando com Gebrim et al., (2008) que notaram que adição desse tipo de ácido em altas quantidades aumentou a lixiviação das bases trocáveis (K, Ca e Mg) do solo, pois é de fundamental importância o equilíbrio dos nutrientes na solução do solo (MALAVOLTA, 2006). De acordo com a “Lei dos incrementos decrescentes”, os aumentos crescentes de fertilizantes, ou no caso a maior solubilização destes no solo correspondem a aumentos decrescentes da produção (Hoffmann et al. (1995) citado por Silva et al., (2001)).

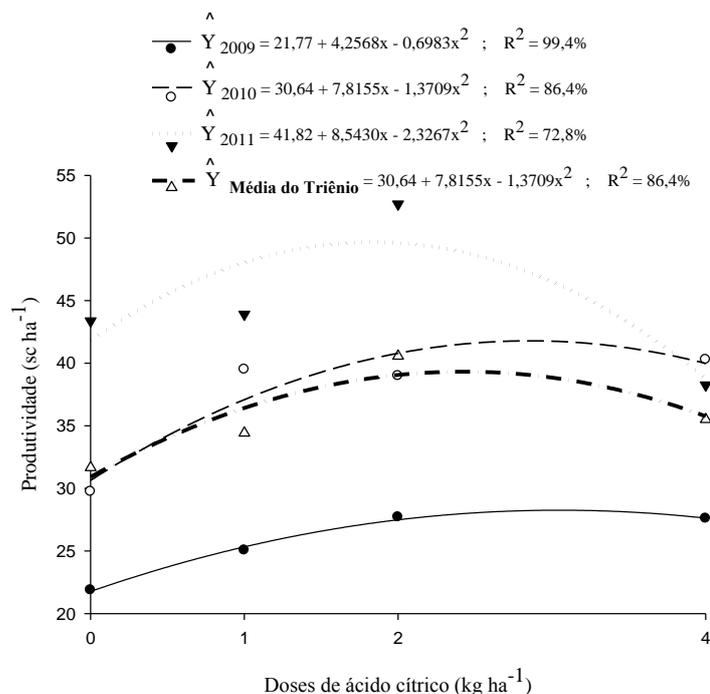


Figura 1 - Relação entre produtividade de grãos de café em função da aplicação de ácido cítrico no solo em Diamantina, MG, média de três safras (2009, 2010 e 2011).

A média das safras no triênio (2009/2010/2011) demonstrou comportamento crescente com o aumento das doses de ácido cítrico, e, que as melhores doses estão na faixa entre as doses de 2 kg ha⁻¹ e 4 kg ha⁻¹, com um incremento máximo médio de 27,2% (8,8 sacas ha⁻¹) aumentados a cada ano (Figura 1). Observou-se que as doses de máxima produtividade foi diminuindo ao longo das três safras, com 3,00 kg ha⁻¹; 2,85 kg ha⁻¹ e 1,85 kg ha⁻¹ para 2009, 2010 e 2011 respectivamente. Possivelmente explicado pela ponte metálica e ou adsorção competitiva do ácido orgânico ao solo, obtendo um maior efeito residual (GUPPY et al., 2005).

Após atingir um ponto máximo, a produção decresce em resposta às doses mais elevadas de ácido cítrico, indicando desequilíbrio nutricional (MALAVOLTA, 2006). Com base na equação da média no triênio (Figura 1), estimaram-se as produções e as doses de ácido cítrico correspondentes à produção máxima e 90% da máxima com 39,3 sacas ha⁻¹ e 35,4 sacas ha⁻¹ respectivamente, com as doses de 2,4 kg ha⁻¹ e 1,2 kg ha⁻¹.

A melhor resposta a produtividade pode ser explicada pelo teor de P baixo encontrado neste solo, e que, a planta começa a ser responsiva a partir de dosagens maiores de ácido cítrico com a solubilização do P adsorvido no solo (JAYARAMA et al., 1998) (Figura 1). Além disso, estes ácidos orgânicos tornaram o Zn trocável com maior capacidade de dessorção, ou seja solubilizando-o no solo (XUE & HUANG, 1995; citados por SILVA et al., 2005); e disponibilizando os demais micronutrientes essenciais para as plantas. Martinez et al. (2003) estudando o estado nutricional e as produtividades de quatro regiões cafeeiras de Minas Gerais, notaram que, os maiores desequilíbrios são observados em relação aos micronutrientes, sendo, as lavouras mais equilibradas nutricionalmente, foram as mais produtivas tanto no ano de alta carga quanto no de baixa.

Estado nutricional e faixas críticas de nutrientes

Observa-se que N não foi significativo nos teores foliares na média do triênio e o P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn demonstraram diferença significativa pela análise de variância ($P < 0,05$) sobre as doses crescentes de ácido cítrico (Tabela 2).

Tabela 2- Teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro em função das doses de ácido cítrico (AC) no solo em Diamantina, MG, em média de três safras (2009, 2010 e 2011).

Doses AC (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- dag kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	2,71	0,12	2,83	1,00	0,13	0,33	68,3	19,1	78,9	76,7	23,9
1	2,73	0,14	3,24	1,10	0,16	0,24	58,7	58,6	90,5	84,7	52,2
2	2,72	0,15	3,09	1,20	0,18	0,25	61,1	44,8	86,5	93,4	52,8
4	3,01	0,13	3,10	1,07	0,17	0,18	51,4	43,0	98,8	92,1	56,9
	0,76 ⁿ	12,65*	3,70	4,76*	10,33*	7,18*	8,34*	5,08*	5,52*	7,42*	80,24*
Teste de F	^s	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Média	2,79	0,13	3,06	1,09	0,16	0,25	59,8	41,4	88,7	86,7	46,49
CV (%)	17,26	7,77	8,24	9,80	11,12	27,46	11,37	49,77	11,28	9,23	10,31

* e **significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

As equações que relacionam o N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas, e as doses de ácido cítrico aplicadas no PAd são apresentadas na Tabela 3.

Com as doses de ácido cítrico estimadas de 2,4 kg ha⁻¹ e 1,2 kg ha⁻¹ correspondentes à produção máxima e de 90% da máxima e substituindo-as nas equações ajustadas para os teores foliares de cada nutriente foliar, estimaram-se as faixas críticas dos mesmos (Tabela 3).

Os modelos quadráticos e lineares ajustaram-se aos teores dos nutrientes nas folhas em função das doses aplicadas de ácido cítrico, com exceção do N que não foi significativo (Tabela 3).

Tabela 3- Equações de regressão ajustadas para os teores de nutrientes nas folhas do cafeeiro (\hat{Y}) em função das doses de ácido cítrico (x) aplicado no solo e faixa crítica de nutrientes estimada para obter a 90-100% da produtividade máxima. Média de três safras (2009, 2010 e 2011).

Nutriente ⁽¹⁾	Equação de Regressão	R ²	Faixa crítica
N	$\hat{Y} = \bar{Y} = 3,06$	--	
P	$\hat{Y} = 0,118 + 0,0275**x - 0,0059**x^2$	0,99	0,14 - 0,15**
K	$\hat{Y} = 2,88 + 0,268*x - 0,054*x^2$	0,59	3,12 - 3,21*
Ca	$\hat{Y} = 0,993 + 0,172**x - 0,038**x^2$	0,96	1,14 - 1,18**
Mg	$\hat{Y} = 0,132 + 0,035**x - 0,006**x^2$	0,99	0,16 - 0,18**
S	$\hat{Y} = 0,313 - 0,035**x$	0,84	0,27 - 0,23**
B	$\hat{Y} = 66,39 - 3,722**x$	0,83	61,8 - 57,4**
Cu	$\hat{Y} = 24,13 + 26,519**x - 5,556**x^2$	0,61	48,1 - 55,8**
Fe	$\hat{Y} = 81,079 + 4,3497**x$	0,80	86,3 - 91,6**
Mn	$\hat{Y} = 76,163 + 12,090**x - 2,012**x^2$	0,97	87,8 - 93,6**
Zn	$\hat{Y} = 26,275 + 23,789**x - 4,079**x^2$	0,90	49,1 - 60,0**

* e **significativo a 5% e 1% pelo teste de t. ⁽¹⁾ Macronutrientes em dag kg⁻¹ e micronutrientes em mg kg⁻¹.

Observa-se que houve aumento quadrático dos teores de P foliar com aumento das doses de ácido cítrico. Considerando-se nas doses estimadas para obtenção de 90 e 100% da produção máxima, $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ e $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente, e substituindo-as nas equações ajustadas nos teores de P nas folhas do cafeeiro, em função das doses aplicadas (0; 1; 2 e 4 kg ha^{-1}), estimaram-se as faixas críticas de P para média das três safras. O conceito de faixa crítica utilizada foi aquele proposto por Malavolta et al. (1997), que define faixa crítica como a amplitude de teores do nutriente na folha abaixo da qual a colheita reduz-se e acima da qual a adubação não é econômica.

A faixa crítica de $0,14$ a $0,15 \text{ dag kg}^{-1}$ de P, está dentro das faixas determinadas em algumas regiões de Minas Gerais (MATIELLO, 1997; MARTINEZ et al., 2003; MARTINEZ et al., 2004), entretanto um pouco abaixo do adequado determinado para região do Alto Jequitinhonha (FARNEZI et al., 2009), mesmo não sendo a época de amostragem de folhas igual as referenciadas, segundo Malavolta (1992) não há muita diferença nos teores foliares do cafeeiro ao longo do ano. Todavia, observou-se um aumento de 27,1% no teor foliar de P na dose de produção máxima ($2,4 \text{ kg ha}^{-1}$). Corroborando com Jayarama et al. (1998) e Silva et al. (2005) que trabalharam com cafeeiros em produção na Índia tiveram maior disponibilização de P no solo e aumento do teor foliar e produtividade com $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$.

A faixa crítica de $3,12$ a $3,21 \text{ dag kg}^{-1}$ de K, está acima do adequado indicado por diversos autores que determinaram para cafeeiros em produção (MALAVOLTA et al. (1997); MATIELLO (1997); MARTINEZ et al. (2003); MARTINEZ et al. (2004)) inclusive a de Farnezi et al. (2009) que determinaram para os cafeeiros do Alto Jequitinhonha. Explicado pelo efeito dos ácidos orgânicos na cinética de liberação de K, em Argissolo ser maior em longo prazo (SILVA et al., 2008) igual ao caso deste experimento, aplicados por três safras. Todavia, no controle (sem ácido cítrico) o teor de $2,66 \text{ dag kg}^{-1}$ está dentro da faixa crítica de $2,24$ - $3,10 \text{ dag kg}^{-1}$.

Nestas duas faixas críticas, tanto a de Ca quanto a de Mg, observou-se que estão um pouco abaixo da determinada para a região por Farnezi et al., (2009). Entretanto seus aumentos foram de 18% e 38,4% para Ca e Mg respectivamente, na dose de produção máxima. Pavinato & Rosolem, (2008) citam que algumas plantas que liberam ácidos orgânicos no solo, como o cítrico, fazem com que o Ca, Mg e K fiquem mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC por estes cátions de reação básica.

Observou-se uma faixa de $0,27$ - $0,23 \text{ dag kg}^{-1}$ de S, calculada pela tendência linear negativa, onde a cada quilograma de ácido cítrico aplicado baixou-se $0,035 \text{ dag kg}^{-1}$.

Comportamento este explicado por Alvarez V. et al., (2007) com o aumento dos ácidos orgânicos no solo, aumenta competição aniônica entre o citrato e sulfato, abaixando o teor disponível. Entretanto, sua faixa está dentro da faixa crítica determinada para a região (FARNEZI et al., 2009) demonstrando que esta competição aniônica não interfere nos teores de S da produção máxima.

Obteve-se a faixa crítica estimada do B para a dose recomendável de ácido cítrico para obtenção de 90 e 100% da produção máxima (Tabela 3), com procedimento igual ao utilizado para o P, K, Ca, Mg e S foliar. Notou-se que a faixa crítica de 61,8-57,4 mg kg⁻¹, calculada pela tendência linear negativa com decréscimos de 3,72 mg kg⁻¹ de B para cada unidade de ácido orgânico aplicado, mostrou-se um pouco abaixo da faixa determinada para o Alto Jequitinhonha (FARNEZI et al., 2009), no entanto, esta faixa esteve dentro dos valores adequados para as outras regiões cafeeiras, não sendo assim, classificado como deficiência elevada.

As faixas críticas de Cu, Fe, Mn e Zn foram estimadas para a dose recomendável de ácido cítrico para obtenção de 90 e 100% da produção máxima (Tabela 3), com procedimento igual ao utilizado para o P, K, Ca, Mg, S e B foliar. Demonstrando que o Fe com uma faixa de 86,3-91,6 mg kg⁻¹ aumentou linearmente 4,34 mg kg⁻¹ para cada unidade de ácido cítrico aplicada. Aumento este devido à complexação metálica exercida pelo ácido cítrico, que, atua descomplexando os sítios do ortofosfato com os oxi-hidróxidos de Fe, e, além de liberar o fosfato e íon metálicos (Cu, Mn e Zn) em solução (SILVA et al., 2005) e, libera também Fe precipitado com o ácido cítrico (GUPPY et al. 2005) podendo este ser mais absorvido pelas plantas.

Observando-se as faixas críticas de Cu, Mn e Zn, os valores de 48,1-55,8 mg kg⁻¹, 87,8-93,6 mg kg⁻¹ e 49,1-60,0 mg kg⁻¹, respectivamente, sendo observadas seu comportamento quadrático, onde seus pontos de máximos de teores foliares com doses variando de 2,4 a 3,0 kg ha⁻¹, foram bem próximos do ponto de máxima produção estimada (2,4 kg ha⁻¹). Todavia, os teores de Cu e Zn estão acima dos determinados para tal região por Farnezi et al., (2009), no entanto, os controles (sem ácido cítrico) já mostravam altos teores destes (Tabela 2), provavelmente devido a pulverizações foliares com fontes destes micronutrientes. Contudo, o Mn, mesmo seguindo tendência crescente na curva com o aumento de doses de ácido cítrico, mostrou-se abaixo dos teores determinados para região, provavelmente explicado pela ausência de aplicação deste micronutriente na lavoura, sabe-se que esta faixa de 87,8-93,6 mg kg⁻¹ encontra-se dentro das faixas dos demais autores para

lavouras cafeeiras em produção (MALAVOLTA et al.,1997; MATIELLO, 1997; MARTINEZ et al.,2003; MARTINEZ et al., 2004).

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que o cafeeiro apresenta melhor resposta em produção de grãos de café para a média de três safras com doses de 1,2 kg ha⁻¹ e 2,4 kg ha⁻¹ de ácido cítrico para 90% da produtividade máxima e a máxima, com 35,4 sacas ha⁻¹ e de 39,3 sacas ha⁻¹ respectivamente.

O melhor equilíbrio do estado nutricional das lavouras cafeeiras em estudo é influenciado com pequenas aplicações de ácido cítrico em que, as plantas respondem com maiores teores absorvidos de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas.

As faixas críticas para a produção média de três safras do cafeeiro, correspondentes a 90-100% da produção máxima são: 0,14-0,15 dag kg⁻¹ para P; 3,12-3,21 dag kg⁻¹ para K; 1,14-1,18 dag kg⁻¹ para Ca; 0,16-0,18 dag kg⁻¹ para Mg; 0,27-0,23 dag kg⁻¹ para S; 61,8-57,4 mg kg⁻¹ para B; 48,1-55,8 mg kg⁻¹ para Cu; 86,3-91,6 mg kg⁻¹ para Fe; 87,8-93,6 mg kg⁻¹ para Mn; 49,1-60,0 mg kg⁻¹ para Zn.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V.H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. X Enxofre. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ª edição, Viçosa-MG, 2007.

ANDRADE, F.V. Ácidos orgânicos e sua relação com adsorção, fluxo difusivo e disponibilidade de fósforo em solos para plantas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 42p. (Tese de Doutorado).

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Café. Quarta estimativa, dez/2011. Brasília: CONAB, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Produção de Informação, 2006. 306p.

FARNEZI, M.M.M.; SILVA, E.B.; GUIMARÃES, P. T. G Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas dris e faixas críticas de nutrientes. R. Bras. Ci. Solo, 33:969-978, 2009.

FRANCO, B.A.H.; SILVA, E.B.; FREITAS, J.P.X. de; CARVALHO, F.P.; SOUZA, C.V. e RESENDE Jr, P.S. Influência da aplicação de ácido cítrico na produtividade e nos componentes de produção do feijoeiro cultivado em neossolo quartzarênico. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009, Fortaleza CE Anais. Fortaleza, 2009 (CD ROOM).

GEBRIM, F.O.; RIBEIRO, S.I. ; FERREIRA, R.N.; VERGUITZ, L.; PROCÓPIO, L.,C. ; NUNES, T., N.; JESUS, G., L., . Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. R. Bras. de Ci. do Solo, Viçosa, v. 32, p. 2255-2267, 2008.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ VIEGAS, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. Austr. J. Soil Res., 43:189-202, 2005.

HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; EVANGELISTA, A.R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região Noroeste do Paraná. R. Bras. Ci. do Solo, 19:79-86, 1995.

JAYARAMA, V.; SHANKAR, B.N.; SOUZA, V.M.D. Effect of citric acid on the solubility of phosphorus in coffee soils. Indian Coffee, Bangalore, v. 12, p. 13-15, 1998.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A. & PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Ann. Rev. Plant Biol.,55:459-493, 2004.

LEMONS, V.T.; SILVA, E.B.; FRANCO, B.A.H.; CARVALHO, V.C.; PEDROSA, C.E.; AZEVEDO, A.M.; RIBEIRO, R.C.; Influência da aplicação de ácido cítrico na produtividade do cafeeiro e nos atributos químicos do solo. In: FERTBIO, 2010, Guarapari ES Anais. Guarapari, 2010 (CD ROOM).

MALAVOLTA, E. ABC da análise de solos e folhas.1ª Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124p.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 2006. 631p.

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

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H. & GUIMARÃES, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. Pesq. Agropec. Bras., 38:703-713, 2003.

MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H.; MENEZES, J.F.S.; NEVES, Y.P.; OLIVEIRA, J.A.; ALVARENGA, A.P. & GUIMARÃES, P.T.G. Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé. (Boletim Técnico 72),Belo Horizonte, EPAMIG, 2004. 60 p.

MATIELLO, J. B. Gosto do meu cafezal. Rio de Janeiro: Globo, 1997. 139 p.

- MELO, B. de; MARCUZZO, K.V.; TEODORO, R.E.F.; CARVALHO, H. de P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro, em um solo originalmente sob vegetação de Cerrado de Patrocínio – MG. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 29: 315-321, 2005.
- PAULA JUNIOR, T. J.; VENZON, M. 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800p.
- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A.; Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revisão de literatura. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:911-920, 2008.
- PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; NUNES, F.N. & FONSECA, F. Diffusive flux of cationic micronutrients in two Oxisols as affected by low molecular weight organic acids and cover crop residue. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168:1-7, 2005.
- RAGHOTHAMA, K.G. & KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. *Plant Soil*, 274:37-49, 2005.
- REIS Jr., R.A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G. & GUIMARÃES, P.T.G. Diagnóstico nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: Normas DRIS e teores foliares adequados. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:801-808, 2002.
- SILVA, E.B.; COSTA, H.A.O. TANURE, L.P.P.; FONSECA, P.G.; DUARTE, D.M. Influência da aplicação de fósforo e ácido cítrico no milho cultivado em neossolo quartzarênico. In: FERTBIO, 2008, Londrina PR Anais. Londrina, 2008 (CD ROOM).
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G; NETO, A.E.F. Adubação potássica do cafeeiro: produção, faixas críticas de nutrientes no solo e nas folhas. *Ciênc. agrotec.*, 25:801-811, 2001.
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P. T. G. Resposta do cafeeiro à aplicação de zinco e ácido cítrico no solo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina, PR. Anais. Londrina: Embrapa Café, 2005 (CDROOM).
- SILVA, V. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.de; NOGUEIRA, F. D. & GUIMARAES, P. T. G. In: Kinetics of K release from soils of Brazilian coffee: effect of organic acids. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:533-540, 2008.

CONCLUSÃO GERAL

A aplicação de 1 a 2 kg ha⁻¹ de ácido cítrico influencia positivamente no crescimento e na qualidade das mudas sobre as doses de fósforo padrão no substrato.

Com o aumento das doses de ácido cítrico no substrato com dose padrão de fósforo (900 g P₂O₅ ha⁻¹) os teores de P e Zn nas mudas diminuem devido ao maior crescimento.

Observou-se acréscimo nos teores foliares de Ca, N, P, S, Cu, Fe e Zn nas doses de 1,6 a 4,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico em mudas no substrato sem fósforo.

As doses entre 1,0 a 2,0 kg ha⁻¹ de ácido cítrico contribuem para o crescimento de cafeeiros até 75 dias após aplicação (DAA) sem o uso de adubação fosfatada na cova.

Na presença de adubação fosfatada de plantio as dosagens de ácido cítrico utilizadas não contribuem para o crescimento e melhoria das plantas.

Os teores foliares de B aos 75 DAA e Ca aos 180 DAA diminuem e, os de Zn aos 75 DAA, e de Cu aos 180 DAA aumentam independentemente da adubação fosfatada de plantio, sendo influenciados apenas pelas doses de ácido cítrico.

Os teores foliares de Ca e Mg aos 75 DAA, aumentam seus teores significativamente com o aumento das doses entre 1,0 e 2,0 kg ha⁻¹, quando não se utiliza fósforo no plantio.

Os teores foliares de P e K aos 75 DAA tendem a se igualar ao teor das plantas que recebem fósforo no plantio, e, até esta época, não se é necessário o uso do mesmo no plantio.

A produção de café foi influenciada positivamente quando se adicionou 1,2 e 2,4 kg ha⁻¹ de ácido cítrico para 90% da máxima e a máxima produção, com incrementos de 14,5 e 27,2% em produtividades.

O melhor equilíbrio do estado nutricional das lavouras cafeeiras em estudo é influenciado com pequenas aplicações de ácido cítrico em que, as plantas respondem com maiores teores absorvidos de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas.

As faixas críticas para a produção média de três safras do cafeeiro, correspondentes a 90-100% da produção máxima são: 0,14-0,15 dag kg⁻¹ para P; 3,12-3,21 dag kg⁻¹ para K; 1,14-1,18 dag kg⁻¹ para Ca; 0,16-0,18 dag kg⁻¹ para Mg; 0,27-0,23 dag kg⁻¹ para S; 61,8-57,4 mg kg⁻¹ para B; 48,1-55,8 mg kg⁻¹ para Cu; 86,3-91,6 mg kg⁻¹ para Fe; 87,8-93,6 mg kg⁻¹ para Mn; 49,1-60,0 mg kg⁻¹ para Zn.

ANEXO:

Artigos 1 e 2

NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DA REVISTA COFFEE SCIENCE

Disponível em:

<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/about/submissions#authorGuidelines>

Artigo3

NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DA REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

Disponível em:

<http://www.sbc.org.br/solos/visao/texto.php?tipo=5>