

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E  
MUCURI - UFVJM

NYKOLAS CARVALHO SCHIAVON

**AÇÃO DO ÁCIDO CÍTRICO APLICADO EM SUBSTRATO DE MUDAS  
DE CAFÉ ADUBADO COM FÓSFORO**

DIAMANTINA - MG  
2015

NYKOLAS CARVALHO SCHIAVON

**AÇÃO DO ÁCIDO CÍTRICO APLICADO EM SUBSTRATO DE MUDAS  
DE CAFÉ ADUBADO COM FÓSFORO**

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

Orientador: Prof. Dr. André Cabral França

DIAMANTINA - MG  
2015

Ficha Catalográfica - Sistema de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa CRB-6/2972

S329a Schiavon, Nykolas Carvalho.  
2016 Ação do ácido cítrico aplicado em substrato de mudas de café adubado com fósforo / Nykolas Carvalho Schiavon. – Diamantina : UFVJM, 2016.  
52 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. André Cabral França  
Coorientador: Prof. Dr. Enilson de Barros Silva

Dissertação (mestrado) –Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Faculdade de Ciências Agrárias. Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2016.

1. Coffea arabica. 2. Acidos orgânicos. 3. Solubilizador. 4. Substrato . I. França, André Cabral. II. Silva, Enilson de Barros. III. Título.

**CDD 633.73**

NYKOLAS CARVALHO SCHIAVON

**AÇÃO DO ÁCIDO CÍTRICO APLICADO EM SUBSTRATO DE MUDAS  
DE CAFÉ ADUBADO COM FÓSFORO**

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

Orientador: Prof. Dr. André Cabral França

Data da aprovação: 13/11/2015

---

Prof. Dr. Vinicius Teixeira Lemos - UFLA

---

Prof. Dr. Múcio Magno de Melo Farnezzi - UFVJM

---

Prof. Dr. Prof. Dr. Enilson de Barros Silva - UFVJM

---

Prof. Dr. André Cabral França – UFVJM  
Presidente

DIAMANTINA - MG  
2015

## *OFEREÇO*

*Aos meus pais Delane e Fabrícia, pelo apoio, confiança, amizade e principalmente pelo amor incondicional.*

*E aos meus irmãos, André e Elisa, pela torcida e carinho.*

*À minha Noiva Camila, pelo companheirismo, paciência e amor.*

*À toda minha família que sempre esteve ao meu lado.*

*Ao Professor André pelos ensinamentos e amizade.*

*Ao grande amigo João Pedro Cury, que desde o início da graduação me incentivou em fazer trabalhos através da iniciação científica e pesquisas.*

## *DEDICO*

*Á Deus, por ter me dado o Dom da vida e da sabedoria para fazer as melhores escolhas.*

*À Nossa Sra Aparecida, pela proteção nas estradas e também ao servo de Deus Venerável Padre Victor e a Madre Tereza Margarida “Nossa Mãe”.*

*À Irmã Margarida do Carmelo São José pela intercessão através de suas orações.*

*À todos que acreditaram na minha capacidade na realização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo patrocínio do projeto de pesquisa e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor André Cabral França, por todos os anos de orientação, desde à graduação até o mestrado, pela confiança, amizade, paciência e todos os ensinamentos profissionais e pessoais que me fizeram crescer como Engenheiro Agrônomo e ser humano.

Ao professor Enilson de Barros Silva pela Coorientação e grande contribuição na execução deste trabalho e também pela orientação durante o início da graduação, com seus ensinamentos relacionados à fertilidade do solo, nutrição de plantas e análises laboratoriais de solo e folha.

Aos amigos e professores Edson Aparecido dos Santos e Evander Alves pelo apoio, amizade, incentivo e pela contribuição para a conclusão do trabalho.

Aos técnicos da UFVJM Abraão, Rafael, Múcio, Fabiano e Lindomar pela amizade, confiança, parceria e ajuda nas análises laboratoriais.

Ao grande amigo, responsável pelo setor de olericultura da UFVJM, Teodoro, que sempre nos ajudou e emprestou materiais e ferramentas.

Aos amigos do NECAF que passaram pela UFVJM: Russo (Vinicius), Juca Bala (Juliano), Jandáia (Moisés), Tulim (Marco Túlio), Miguel, Ademilson, Guto, Samuel, Ana Flávia e Renan, que hoje estão pelo Brasil à fora, exercendo suas profissões e colocando seus aprendizados em prática. Também aos novos membros do NECAF que contribuíram na realização das últimas análises e conclusão deste trabalho: Edinho (Edson), Bárbara, Renan Cantor de Arrocha (Renan), Rodrigo (Rodrigo), Samuel, Evandro, Leyi, Douglas, Rodrigo, Felipe, Carol, Eudes, Kelen e Fausto.

Aos amigos e companheiros Cícero, Carlão, José Adão, Marcos, Norton, Uidemar e Fernandinho pela agradável convivência diária, auxílio nas pesquisas e amizade.

À nossa zeladora Silvana que é responsável pela organização e limpeza do Departamento de Agronomia.

À minha FAMÍLIA pelo apoio e incentivo do começo ao fim.

À minha NOIVA Camila pela amizade, apoio, amor, dedicação e paciência.

Aos companheiros da República Kabaré e agregados, pela amizade e TANTAS CONFRATERNIZAÇÕES juntos.

Ao grande amigo Daniel Henrique Primo, por ter me ajudado nos últimos meses com o seu apoio e dedicação à nossa amizade.

*“Humilde é aquela pessoa que sabe que não sabe tudo, que sabe que outra pessoa sabe o que ela não sabe, que ela e outra pessoa saberão muitas coisas juntas, que ela e outra pessoa nunca saberão tudo que pode ser **sabido**.”*

*Mario Sérgio Cortella*

## RESUMO

SCHIAVON, Nykolas Carvalho. **Ação do ácido cítrico aplicado em substrato de mudas de café adubado com fósforo** 2015. .p.50(Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2015.

A adição de ácido cítrico ao substrato pode influenciar a disponibilidade de fósforo para as plantas de café e possibilitar melhor crescimento e nutrição. Além disso, o crescimento e a nutrição possivelmente sofrerão influencia da cultivar e do parcelamento de dose do ácido cítrico. Por isso, objetivou-se avaliar o crescimento e acúmulo de nutrientes por mudas de café (*Coffea arabica*L.) de três cultivares: Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 e Oeiras MG 6851, em substrato tratado com ácido cítrico e diferentes doses de  $P_2O_5$ . Buscou-se também verificar o efeito do parcelamento do ácido cítrico no crescimento e acúmulo de nutrientes, pelas mudas. Foram instalados dois experimentos, delineados em cinco blocos e esquema fatorial. No primeiro, foram avaliadas as três cultivares de café e quatro doses de  $P_2O_5$  (0, 450, 900 e  $1.800\text{ g m}^{-3}$ ) em solo tratado com ácido cítrico anidro ( $0,5\text{ mg dm}^{-3}$ ). No segundo experimento, os fatores foram compostos pelas quatro doses de  $P_2O_5$  e a dosagem de ácido cítrico dividida em quatro parcelamentos. As plantas foram submetidas aos tratamentos a partir da emissão das primeiras folhas cotiledonares as avaliações ocorreram após 180 dias (no primeiro experimento) e após 120 dias (no segundo experimento). Foram avaliadas variáveis de crescimento, acúmulo de matéria seca e nutrientes pelas plantas de café. Como resultados verificou-se que as doses de  $P_2O_5$ , em substrato tratado com ácido cítrico, influenciaram o crescimento das mudas de café das cultivares estudadas. O maior crescimento, acúmulo de biomassa e acúmulo máximo de nutrientes foram na dose de  $900\text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$ . Com relação ao parcelamento do ácido cítrico, foi observado melhor crescimento de mudas de café quando a dosagem foi parcelada em três e quatro vezes.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, ácidos orgânicos, solubilizador, substrato.

## ABSTRACT

SCHIAVON, NykolasCarvalho. **Action of the citric acid used in substrate fertilized coffee seedlings with phosphorus.** 2015. p.50.Dissertation (Masters in Vegetable Production) - Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valley, Diamantina, 2015.

The addition of citric acid to the substrate can influence the availability of phosphorus for plants and coffee allow better growth and nutrition. Additionally, the growth and nutrition possibly suffer influence of genotype and citric acid dose installment. Therefore, this study aimed to evaluate the growth and accumulation of nutrients in coffee seedlings (*Coffea arabica*L.) Of three cultivars Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 and Oeiras MG 6851, in substrate treated with citric acid and different of  $P_2O_5$ . It also sought to determine the effect of citric acid installment in the growth and accumulation of nutrients by the plants. Two experiments, outlined in five blocks and a factorial design were installed. At first, they evaluated the three coffee cultivares  $P_2O_5$  four doses (0, 450, 900 and 1800  $g\ m^{-3}$ ) tratato soil with anhydrous citric acid (0,5  $mg\ dm^{-3}$ ). In the second experiment, the factors were composed by four doses of  $P_2O_5$  and citric acid dosage divided into four installments. The plants were subjected to treatment from the issuance of the first cotyledon leaves the evaluations occurred after 180 days (the first experiment) and 120 days (the second experiment). Growth variables were evaluated, dry matter accumulation and nutrients by coffee plants. As a result it was found that doses of  $P_2O_5$ , substrate treated with citric acid, influenced the growth of coffee seedlings of cultivars. The greatest growth, biomass accumulation and maximum nutrient accumulation were at a dose of 900  $g\ m^{-3}$  of  $P_2O_5$ . Regarding the installment of citric acid, better growth of coffee seedlings was observed when the dosage was split into three four times.

**Keywords:** *Coffea arabica*, organic acids, solubiliser, substrate.

## LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO I. Crescimento e nutrição de mudas de café submetidas à aplicação de ácido cítrico e fósforo	Pág.
Figura 1 - Altura de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	24
Figura 2 - Área foliar (a) e área foliar específica (b) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	24
Figura 3 - Massa seca da folha (a), do caule (b), das raízes (c) e total (d) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	26
Figura 4 - Densidade radicular (a) e Relação parte aérea/raízes (b) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	27
Figura 5 - Teor de P de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	29
Figura 6 - Teor de Ca de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	30
Figura 7 - Teor de Mg e S de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	30
Figura 8 - Teor de Fe (a) e de Mn (b) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	31
Figura 9 - Teor de Zn de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m <sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , aos 180 dias após sementeira.....	32

## LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I. Crescimento e nutrição de mudas de café submetidas à aplicação de ácido cítrico e fósforo	Pág.
Tabela 1 - Caracterização química do solo usado na composição do substrato antes da aplicação do tratamento com $P_2O_5$ .....	22
ARTIGO CIENTÍFICO II. Parcelamento de ácido cítrico e doses de $P_2O_5$ no crescimento e acúmulo de nutrientes por mudas de café	
Tabela 1 - Análise química do substrato antes da aplicação das doses de $P_2O_5$ e do ácido cítrico.....	40
Tabela 2 - Parâmetros fitotécnicos em mudas de café (Catuaí Vermelho IAC 52), após cultivo em substrato tratado com $P_2O_5$ e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.....	42
Tabela 3 - Acúmulo de matéria seca por mudas de café (Catuaí Vermelho IAC 52), após cultivo em substrato tratado com $P_2O_5$ e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.....	43
Tabela 4 - Teor de elementos minerais em folhas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) após cultivo em substrato tratado com $P_2O_5$ e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.....	45
Tabela 5 - Teor de zinco em folhas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) após cultivo em substrato tratado com $P_2O_5$ e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.....	47
Tabela 6 - Teores de fósforo e zinco em substrato cultivado por 120 dias por plantas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) e tratado com $P_2O_5$ e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.....	48

## SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	Ii
LISTA DE FIGURAS.....	Iii
LISTA DE TABELAS.....	Iiii
INTRODUÇÃO GERAL.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
ARTIGO CIENTIFICO I. Crescimento e nutrição de mudas de café submetidas à aplicação de ácido cítrico e fósforo	18
1 Resumo.....	18
2 Abstract.....	19
3 Introdução.....	20
4 Material e métodos.....	21
5 Resultados e discussão.....	23
6 Conclusões.....	32
7 Agradecimentos.....	33
8 Literatura citada.....	33
ARTIGO CIENTIFICO II. Parcelamento de ácido cítrico e doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> no crescimento e acúmulo de nutrientes por mudas de café	36
1 Resumo.....	36
2 Abstract.....	37
3 Introdução.....	38
4 Material e métodos.....	39
5 Resultados e discussão.....	41
6 Conclusões.....	49
7 Agradecimentos.....	49
8 Literatura citada.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52

## INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e produzirá na safra 2015, um montante aproximado de 42,14 milhões de sacas (arábica e robusta) (CONAB, 2015). O café arábica representa 74,3 % do total de café produzido no país. Para esta safra estima-se que haja uma queda de 2,6 % em relação a safra anterior, devido as condições climáticas como por exemplo a escassez de chuva (CONAB, 2015), que desfavorece a cultura e como consequência um menor rendimento por saca, devido a má granação dos frutos.

Porém, a produtividade média brasileira ainda é baixa, de apenas 21,84 sacas ha<sup>-1</sup> de café beneficiado, considerando que o potencial produtivo das cultivares é superior a 40 sacas ha<sup>-1</sup> de café beneficiado (CONAB, 2015). Assim, é de fundamental importância se gerar tecnologia e a mesma, através da extensão rural ser usada pelo cafeicultor brasileiro para aumentar sua produtividade.

Em Minas Gerais, a produção de mudas em sacolas plásticas representa grande parte do total de mudas de café 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).

Por se tratar de uma cultura perene, um dos fatores de maior importância na formação de uma lavoura cafeeira é a produção de mudas saudáveis, com bom desenvolvimento. 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 (GUIMARÃES et al., 1998; ALVARENGA et al., 2000; MATIELLO et al., 2005).

Sendo assim, o substrato das mudas a serem produzidas, devem ser adubados de maneira a suprir as necessidades minerais das plantas para que a muda formada tenha uma boa arquitetura da parte aérea, do sistema radicular, da sua nutrição e também de uma boa relação solo-planta-atmosfera, onde haverá como consequência uma translocação de água ideal.

Na preparação do substrato, destaca-se a adubação fosfatada. Na ausência deste elemento, o sistema radicular apresenta pouco desenvolvimento, reduzindo a capacidade de absorção de água e nutrientes, podendo ser limitante no desenvolvimento das mudas (MELO et al. 2003). A ocorrência de mudas de café com folhas amareladas, pequenas, com queima no ápice e com folhas cotiledonares frequente em viveiros comerciais, tendo como principal

causa à falta de cuidados no preparo do substrato, quanto à quantidade insuficiente de fósforo utilizado, conforme demonstrado por 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 de baixa massa molecular como o cítrico, apresenta grande eficiência quando aplicados no solo, devido a sua capacidade de formar complexos solúveis com cátions metálicos, reduzindo assim a quantidade de P ligado as cargas do solo, disponibilizando maior quantidade para as plantas.

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 ácido cítrico, e, este promove uma maior concentração de fosfato na solução do solo. Tal composto orgânico possui radicais funcionais que o torna capaz de formar complexos orgânicos com Fe, Al, Ca e Mg (PEARSON, 1966). 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.

A Índia foi um país pioneiro nos estudos com ácido cítrico, recomendando a aplicação desse ácido para a cafeicultura, com o intuito de promover maior liberação de nutrientes do solo, principalmente P, K e Zn (JAYARAMA et al., 1998).Segundo Silva et al. (2002), o ácido cítrico é considerado um dos componentes mais importantes envolvidos nos processos de liberação de P, Zn e neutralização do Al, e também destacam que os genótipos de café Catuaí Vermelho e Icatu Amarelo, excretam grandes concentrações de exsudados radiculares de ácido cítrico em suas raízes, que os tornam mais resistentes a solos ácidos, com baixa fertilidade e com alto teor de alumínio tóxico.Também têm sido relatados efeitos de ácidos como o cítrico e o oxálico na liberação de K (SILVA, 1999).

Em experimento realizado por Silva et al., (2005), observaram que a produtividade de grãos de café aumentou com as doses de ácido cítrico, atingindo produtividade de máxima de 34,0 sacas ha<sup>-1</sup> com a aplicação da dose de 2,7 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse experimento foi avaliado respostas do cafeeiro quando submetido à adubação com e sem zinco em diferentes doses de ácido cítrico aplicadas via solo.

Lemos et al. (2015), trabalhando com diferentes doses de ácido cítrico e fósforo em mudas de café, concluiu que a aplicação de 1 mg dm<sup>-3</sup> de ácido cítrico aplicado ao substrato na produção de mudas, influencia positivamente no crescimento e na qualidade das

mesmas sobre as doses de fósforo padrão no substrato e ainda acrescenta, a importância de se fazer mais estudos e parcelamentos com tal ácido orgânico.

Para a produção de mudas com baixo custo, a utilização do ácido cítrico pode ser uma alternativa, pois, pode aumentar a eficiência de utilização dos fertilizantes, diminuindo a quantidade padrão utilizada e garantindo o adequado desenvolvimento das mudas de café com redução na aplicação de fósforo no substrato.

Devido às características apresentadas pelo ácido cítrico, a sua aplicação em substrato de cafeeiros deve ser mais estudado. Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação do ácido cítrico com diferentes doses de fósforo na produção de mudas de café.

## LITERATURA CITADA

ALVARENGA, A. P.; MOURA, V. M.; RIBEIRO, M. F. **Escolha de cultivares e produção de mudas de café**. Viçosa: UFV, 2000. 21 p. (Boletim de extensão, 42).

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:1003-1011, 2003.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. Terceiro Levantamento, set/2015. Brasília: CONAB, 2015.

GUIMARÃES, P. T. G.; ALVES NETO, A. de; BELINI JÚNIOR, O.; ADÃO, W. A.; SILVA, E. M. da. A produção de cafeeiros em tubetes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 98-109, 1998.

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.

JAYARAMA, V.; SHANKAR, B. N.; VIOLET, M. D. S. Citric acid as a potential phosphate solubiliser in coffee soils. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 12, p. 13-15, 1998.

LEMO, V.T et al. Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 298 - 308, jul./set. 2015

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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Biosc. J.**; Uberlândia, v.19, n.2, p.35-44, May/Aug. 2003.

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.

PEARSON, R.G. Acids and bases. **Science**, v.151, p: 172-177, 1966.

SILVA, V.A. Potássio em solos de regiões cafeeiras de Minas Gerais: Formas e cinética de liberação por ácidos orgânicos. Lavras: UFLA,1999. 104p. **Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)** – Universidade Federal deLavras, 1999.

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.

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.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. 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.

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 arábica* 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).

## ARTIGO CIENTÍFICO I

### RESPOSTA DE CULTIVARES DE CAFÉ À APLICAÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO E FÓSFORO NO SUBSTRATO

#### RESUMO

A adição de ácido cítrico ao substrato tem o potencial para influenciar a disponibilidade de fósforo para as mudas de café. Objetivou-se com o trabalho avaliar o crescimento e acúmulo de nutrientes por mudas de café Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 e Oeiras MG 6851 em substrato tratado com ácido cítrico em diferentes doses de P. O delineamento experimental adotado foi o DBC, em esquema fatorial 3 x 4 (três cultivares de café por quatro doses de P: 0, 450, 900 e 1.800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), com cinco repetições. Quando as plântulas apresentavam as primeiras folhas cotiledonares, foi realizada aplicação de ácido cítrico anidro na dose de 0,425 mg dm<sup>-3</sup> por plântula, equivalente a 1 kg ha<sup>-1</sup>. A avaliação ocorreu aos 180 dias após a semeadura. As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em substrato tratado com ácido cítrico, influenciaram positivamente o crescimento de mudas de café das cultivares estudadas. O maior crescimento, acúmulo de biomassa e acúmulo máximo de nutrientes foi na dose de 900 g m<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Destaca-se um grande teor foliar de P e Zn mesmo onde não houve adubação fosfatada.

**Palavras-Chave:** *Coffea arabica*, ácidos orgânicos, solubilizador, substrato.

## RESPONSE ACID APPLICATION TO COFFEE CULTIVARS CITRUS AND MATCH IN SUBSTRATE

### ABSTRACT

The addition of citric acid to the substrate has the potential to influence the availability of phosphorus for coffee seedlings. The objective of the study was to evaluate the growth and accumulation of nutrients by coffee seedlings Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 and Oeiras MG 6851 in substrate treated with citric acid at different doses of P. The experimental design adopted was the DBC, in a factorial 3 x 4 (three coffee cultivars for four P doses: 0, 450, 900 and 1,800 mg dm<sup>-3</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), with five repetitions. When the seedlings had the first cotyledons, anhydrous citric acid application was carried out at a dose of 0.425 mg dm<sup>-3</sup> per seedling, equivalent to 1 kg ha<sup>-1</sup>. The evaluation took place 180 days after sowing. The P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> levels in substrate treated with citric acid, positively influenced the growth of coffee seedlings of cultivars. The greatest growth, biomass accumulation and maximum nutrient accumulation was at a dose of 900 g m<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Noteworthy is a big leaf content of P and Zn even where no phosphorus fertilization.

**Keywords:** *Coffea arabica*, organic acids, solubilizer substrate.

## INTRODUÇÃO

Por se tratar de uma cultura perene, um dos fatores de maior importância na formação de uma lavoura cafeeira é a produção de mudas. As mesmas devem ser saudáveis, apresentar bom desenvolvimento, bem como sistema radicular com alta densidade e vigor (MARTINS et al., 2015). Salienta-se que uma planta de café é muito representativa em um cafezal, nesse sentido, monitorar os fatores relacionados à nutrição de mudas são primordiais no sucesso da lavoura.

Dentre esses fatores, são inter-relacionados e devem ser destacados, o fornecimento de nutrientes (especialmente N, P e K) e o substrato. De acordo com diversos trabalhos, dentre tais, aqueles realizados por Tomaz et al. (2004), Santinato et al. (2014), Belan et al. (2015) e Martins et al. (2015), a fertilização, seja das mudas como das plantas já instaladas, está diretamente ligada à sustentabilidade da atividade cafeeira, uma vez que ditam a produtividade, tratos fitossanitários, qualidade de bebida e lucratividade.

Um dos elementos essenciais à nutrição de mudas de café é o fósforo (P). De acordo com trabalhos realizados por Carmo et al. (2014), o não fornecimento desse nutriente em solo contendo  $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  proporciona plantas com valores de acúmulo de massa e crescimento até três vezes menores com relação às plantas devidamente adubadas. No mesmo sentido, Santinato et al. (2014) destacam que mudas de café apresentam ganho de 100 % no acúmulo de N e P foliares quando adubadas com até  $1.308 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os autores ainda destacam o efeito sinérgico entre esses dois elementos, de tal forma que o fornecimento de P implica diretamente em maior absorção de N. Relata-se também que a absorção de P é positivamente relacionada à aquisição de Ca, Mg, B e Mo (GUIMARÃES e REIS, 2010).

Apesar de esclarecida a importância da correta adubação no viveiro, principalmente com relação ao fornecimento de P, em diversas situações há um descuido por parte dos viveiristas. Isso se dá em função dos custos atrelados à adubação do substrato; em algumas situações, as mudas são plantadas no campo com balanço nutricional inadequado. Nesse sentido, a busca de técnicas que otimizem o aproveitamento da adubação fosfatada deve ser preconizada na produção das mudas.

Plantas de café possuem alta habilidade em absorver P de formas pouco disponíveis, como P-Fe, P-Al e P-Ca, Tais hipóteses são ancoradas na capacidade de produção de ácidos orgânicos na rizosfera de plantas de café, que atuam solubilizando o P (EL-SHATNAWI e MAKHADMEH, 2001).

Por esse motivo, relata-se que a adição ácido de baixa massa molecular ao substrato com potencial para influenciar a disponibilidade de P para as mudas de café (PALOMO et al., 2006; PAVINATO e ROSOLEM, 2008; SCERVINO et al., 2010). O ácido cítrico por possuir grupos carboxílicos é capaz de dissociar diante de diferentes concentrações de prótons  $H^+$  na solução do solo, o que gera complexos solúveis com metais e consequentemente maior disponibilidade do ânion fosfato na solução, já que ocorre competição com as cargas dos colóides (WEI et al., 2010). Dessa forma, a adição de ácido cítrico contribuiria para diminuição da adubação fosfatada no substrato para produção de mudas, e conseqüente maior qualidade das mudas, como relatado por Lemos et al. (2015).

Além da influência da dose de  $P_2O_5$  no desenvolvimento de mudas de café, destaca-se que há diferentes respostas em função da cultivar em estudo. Para Tomaz et al. (2004) plantas das cultivares Catuai, Mundo Novo e Oeiras se comportam de forma diferente quanto à eficiência no uso, absorção, transporte e acúmulo de P, N e K. Adicionalmente, as concentrações de macro e micronutrientes em mudas de café são influenciadas pelas doses de  $P_2O_5$  no substrato (GONTIJO et al., 2007; GONÇALVES et al., 2009).

Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar o crescimento e acúmulo de nutrientes por mudas de diferentes cultivares de café crescidas em substrato aplicação de ácido cítrico em diferentes doses de P.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados entre os meses de outubro a março de 2013, em casa de vegetação. Foram avaliadas as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 e Oeiras MG 6851, da espécie *Coffea arabica* L.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 3x4 com três cultivares de café e, quatro doses de P: 0, 450, 900 e 1.800  $g\ m^{-3}$  de  $P_2O_5$ , sendo a Superfosfato Simples, na forma de pó, a fonte de P utilizada, com cinco repetições. Cada muda compunha uma unidade experimental.

O substrato foi composto pela mistura de 300 L de esterco de curral curtido; 0,5 kg de cloreto de potássio e 700 L de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). O solo (Tabela 1), foi adubado de acordo com recomendações de Guimarães et al. (1999), porém, excetuando-se a adição de  $P_2O_5$ , que foi fator em estudo. Após, o substrato foi adicionado em sacolas

plásticas usualmente utilizadas na produção de mudas, com volume de 0,85 dm<sup>3</sup>. Por fim, houve a colocação de duas sementes por sacola. Houve a emergência das plântulas e quando as mesmas se encontravam no estágio de primeiras folhas cotiledonares, foi realizada aplicação de ácido cítrico na dose de 0,425 mg dm<sup>-3</sup> por plântula, equivalente a 1 kg ha<sup>-1</sup>, de acordo com a dose sugerida por Lemos et al. (2015).

Tabela 1 – Atributos físicos e propriedades químicas do Latossolo Vermelho distrófico, utilizado no substratado experimento.

<b>Análise granulométrica (g kg<sup>1</sup>)</b>											
<b>Areia</b>	<b>Silte</b>		<b>Argila</b>			<b>Classe Textural</b>					
.....%.....											
380	60		560			Argiloso					
<b>Análise química</b>											
<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>SB</b>	<b>t</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>M.O.</b>
.....mg											
.....dm <sup>3</sup> .....											
.....cmole dm <sup>3</sup> .....											
.....%											
.....dag kg <sup>1</sup>											
6,1	0,7	25	1,7	0,5	0	3,7	2,3	2,3	6	38	1,1

pH<sub>água</sub>: relação solo-água 1:2,5; P e K: Extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; M.O.: Matéria Orgânica - Método Walkey & Black

Após 180 dias, quando as plantas apresentavam entre quatro e cinco pares de folhas definitivas, foram realizadas as seguintes avaliações de crescimento: número de folhas, diâmetro do coleto (com auxílio de um paquímetro digital), altura das plantas (distância colo até gema terminal do ramo ortotrópico) e área foliar (cm<sup>2</sup>), sendo esta realizada de acordo com o método não destrutivo, proposto por Antunes et al. (2008). Posteriormente, as plantas foram cortadas rente ao solo, divididas em folhas, caules e raízes, lavadas com água destilada. Após foi determinada a massa seca de todas as porções (secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C). Finalmente, após pesado, o material foi triturado em moinho tipo Wiley e passado em peneira de 40 mesh e para a determinação da concentração foliar de nutrientes segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Utilizando-se dos dados de área foliar e massa seca, efetuou-se o cálculo para área foliar específica (área foliar/massa seca das folhas). Além disso, foi determinada a densidade radicular, após inserção das raízes em recipiente graduado e verificação do volume de água deslocado. Finalmente, foi determinada a razão massa seca da parte aérea/massa seca de raiz.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram submetidas a estudo de regressão com escolha dos modelos baseada na sua significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Crescimento de plantas

Após 180 dias de cultivo (4-5 pares de folhas), foi observado que a variável altura de plantas foi influenciada pelas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e pelas cultivares ( $p < 0,01$ ). Foi observada resposta crescente das plantas até dose de 450 g m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, além disso, a cultivar Mundo Novo apresentou maior altura diante da aplicação do nutriente. Destaca-se também que até dose de 900 g m<sup>-3</sup> a cultivar Catuaí produziu plantas maiores que a Oeiras (Figura 1). Foi observado também que as mudas apresentaram área foliar maior nas doses de 1.235, 1.074 e 1.023 g m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para Oeiras, Mundo Novo e Catuaí, respectivamente. Além disso, a cultivar Catuaí apresentou maior área foliar até dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> próxima a 1.070 g m<sup>-3</sup>, quando fora inferior à Oeiras (Figura 2-a).

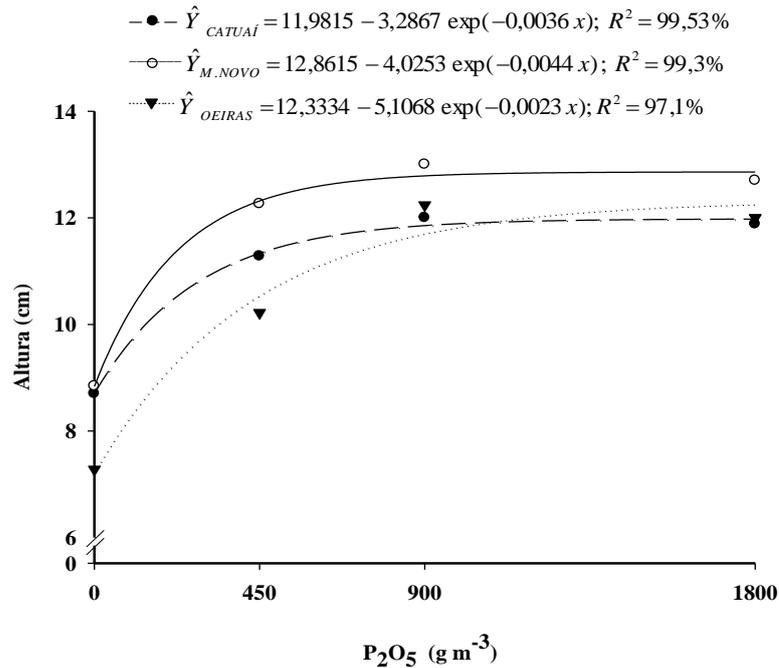


Figura 1 - Altura de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aos 180 dias após semeadura.

As respostas em área foliar, bem como área foliar específica, são importantes parâmetros fisiológicos que permitem considerações a respeito da relação entre alocação de nutrientes e fotoassimilados e o crescimento das plantas, principalmente quando se avalia o desenvolvimento de mudas diante da necessidade de produção com rapidez e qualidade (FAVARIN et al., 2002).

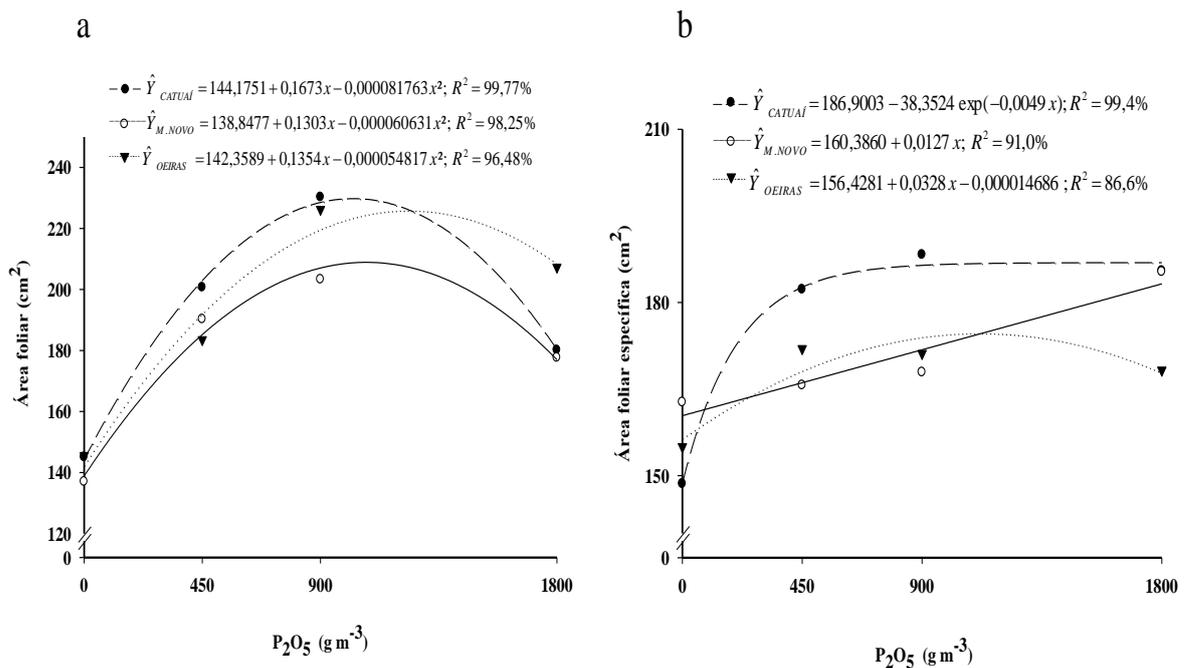


Figura 2 - Área foliar (**a**) e área foliar específica (**b**) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aos 180 dias após semeadura.

Com relação à área foliar específica, o modelo foi ajustado de forma que, para as cultivares Catuaí e Oeiras, os maiores valores foram conseguidos quando as plantas foram expostas à dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Porém, para Mundo Novo o ajuste foi linear, assim, essas plantas responderam de forma direta e positiva ao incremento de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no substrato no intervalo avaliado. Destaca-se que a cultivar Catuaí se mostrou mais desenvolvida que as demais por apresentar área foliar específica maior aos 180 dias de cultivo, a partir de baixas doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 2-b).

Na avaliação do acúmulo de massa pelas plantas, também foi observado efeito das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  nos três cultivares ( $p < 0,01$ ). Para massa seca de folhas, as cultivares se comportaram de forma semelhante (modelos quadráticos com valores de máximos na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$ ), porém, as plantas de Oeiras tiveram maiores valores de massa nessa dose (Figura 3-a). Para os valores de massa seca de caule e de raízes, não houve diferenças entre as cultivares, apenas das doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $p < 0,01$ ). Os maiores valores para essa variável foram conseguidos com dose de  $1.000 \text{ g m}^{-3}$  (Figura 3-b e 3-c). Finalmente, para a massa seca total (folhas + raízes + caule) todas as plantas apresentaram valores máximos na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , além disso, as cultivares Mundo Novo e Oeiras foram superiores à Catuaí (Figura 3-d).

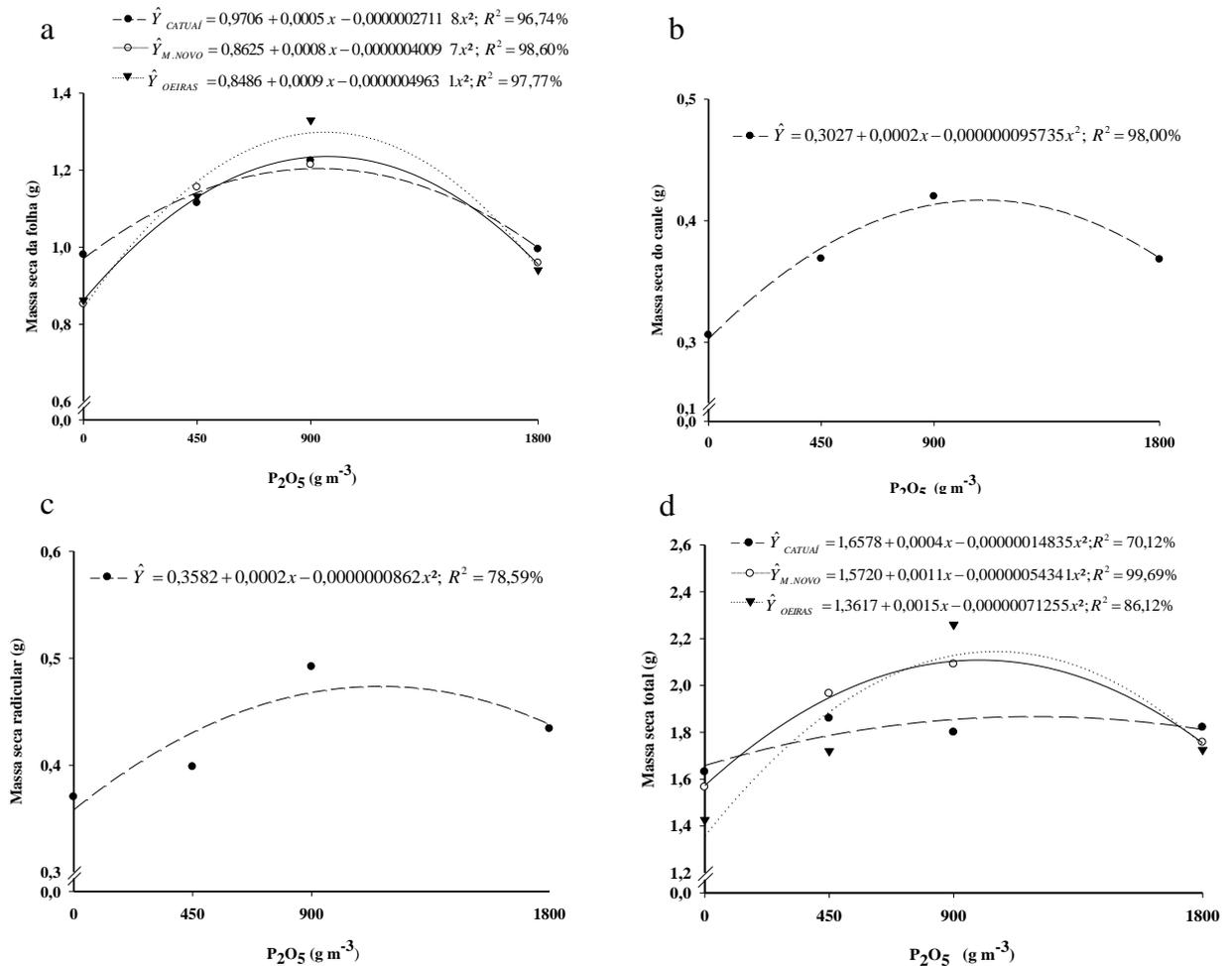


Figura 3 - Massa seca da folha (a), do caule (b), das raízes (c) e total (d) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5\ g\ m^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

A relação entre parte aérea e raízes é um parâmetro que fornece informações acerca do desenvolvimento do sistema radicular. Em mudas de cafeeiro, em função dos interpérios encontrados no campo e do grande tempo para desenvolvimento, um sistema radicular bem formado está diretamente relacionado ao bom estabelecimento da cultura ancorado em um equilíbrio entre raízes e parte aérea, a menos que ocorra qualquer distúrbio (Rena e Maestri, 1998). Nesse sentido, destaca-se que por meio do ajuste matemático obteve-se comportamento quadrático e as doses de P relacionadas aos maiores valores para relação parte aérea/raízes foram  $742$ ,  $945$  e  $1.099\ g\ m^{-3}$  para as cultivares Catuai, Mundo Novo e Oeiras, respectivamente. Foi observado também que o efeito das doses de  $P_2O_5$  na relação parte aérea/raízes foi menos influente para a cultivar Oeiras em relação às demais, principalmente em dose acima de  $900\ g\ m^{-3}$  (Figura 4-b).

Com relação à densidade de raízes, as respostas das plantas foram influenciadas pelas cultivares e pelas doses de P. Os maiores valores de densidade estimados foram 1.097 e 1.337  $\text{g m}^{-3}$  para Catuai e Oeiras, respectivamente. Para plantas de Novo Mundo, houve respostas positivas diretas da densidade de raízes até a dosagem próxima a 900  $\text{g m}^{-3}$ , quando os valores se estabilizaram (Figura 4-a).

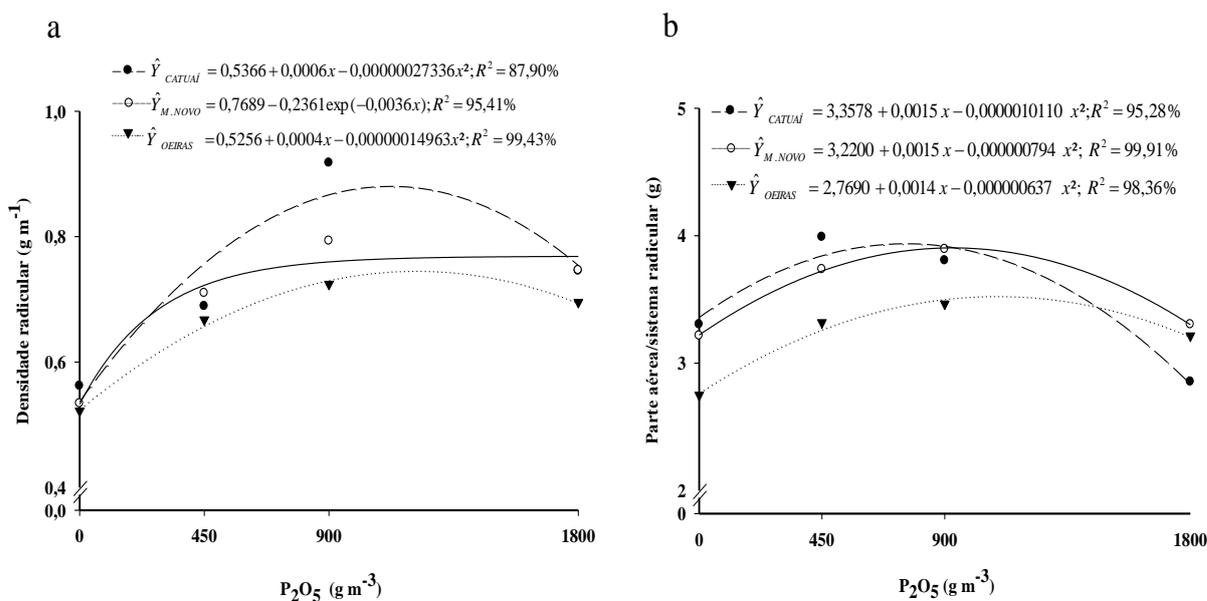


Figura 4 - Densidade radicular (a) e Relação parte aérea/raízes (b) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aos 180 dias após semeadura.

Para sete das nove características de crescimento determinadas nesse trabalho houve efeito negativo de doses maiores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no substrato contendo ácido cítrico, com valores ótimos próximos a  $1.000 \text{ g m}^{-3}$ . Além disso, apenas a cultivar Mundo Novo teve resposta linear positiva nos valores de área foliar específica com incremento nas doses de P (Figura 2-b). De acordo com Guimarães e Reis (2010), super doses de P podem ser benéficas à absorção de alguns elementos (N, P, Ca, Mg, B e Mo), porém, prejudiciais a outros (K, Cu, Fe, Mn e Zn); o que compromete o balanço de nutrientes nas plantas e consequentemente o crescimento (SANTINATO ET AL., 2014).

Conforme relatado por Jones et al. (2003), Soares et al. (2008) e Wei et al. (2010), a presença de ácido cítrico na região da rizosfera provoca o aumento da disponibilidade de P para as plantas, dessa forma, a adição do composto contribuiria para a diminuição da adubação fosfatada sem diminuição do crescimento das mudas de café. Atrelado a isso, cita-se que uma das maiores dificuldades dos produtores de mudas está relacionada a tratos com adubação. Em muitas situações, ocorrem adubações apenas do substrato no pré-semeio, o que

geram mudas deficientes e mal formadas para o momento da aclimatação (MARANA ET AL., 2008).

Por esse motivo, a adubação com  $P_2O_5$  normalmente recomendada, que é equivalente a  $900 \text{ g m}^{-3}$  de substrato (GUIMARÃES et al., 1999 E GUIMARÃES e REIS, 2010), ou que não pode exceder  $1.000 \text{ g m}^{-3}$  (MELO et al., 2003), pode ser diminuída nesse trabalho quando em substrato contendo ácido cítrico, principalmente para as variedades Catuai e Mundo Novo.

Da mesma forma, para a cultivar Catuai, o índice de área foliar específico bem como a relação entre parte aérea e raízes, já se mostravam próximos aos seus maiores valores em dose de  $P_2O_5$  menor que  $900 \text{ g m}^{-3}$ . Apesar disso, a avaliação dos teores de nutrientes absorvidos pelas mudas confere aporte de informações acerca da melhor absorção de  $P_2O_5$  pelas mudas em substrato contendo ácido cítrico.

### **Avaliação nutricional**

Por meio da análise de nutrientes nas folhas, não foi observada variação em função das cultivares, para todos os elementos. Para a concentração de N, os teores não foram influenciados pelas doses de  $P_2O_5$  ( $p > 0,05$ ). Destaca-se o efeito benéfico da nutrição das mudas de café quando em presença de ácido cítrico no substrato, pois sem a adição de  $P_2O_5$ , foi observada concentração de N próxima a  $3,6 \text{ dag kg}^{-1}$ . De acordo com Gontijo (2004) e Gonçalves (2008), os níveis críticos para esse nutriente em folha de mudas de café arábica variam de  $2,26$  a  $2,78 \text{ dag kg}^{-1}$ .

Com relação ao teor de P nas folhas, houve resposta exponencial positiva até  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  no substrato, seguido de posterior estabilização da curva (Figura 5). Destaca-se que o teor de P em folhas de plantas crescidas em substrato, onde não foi realizada a adubação com  $P_2O_5$ , foi equivalente a  $0,38 \text{ dag kg}^{-1}$ . Considerando que o substrato, nesse tratamento, continha apenas  $0,7 \text{ mg dm}^{-3}$  (Tabela 1), evidencia-se o ganho em absorção de P pelas plantas graças à adição de ácido cítrico.

De acordo com Guimarães (1994) e Gontijo (2004), mudas de café crescidas em substrato contendo  $1.000 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  acumulam, após seis meses de desenvolvimento,  $0,26$  e  $0,36 \text{ dag kg}^{-1}$ , respectivamente do nutriente. Os valores críticos para esse elemento, determinados por Gonçalves et al. (2009) estão entre  $0,22$  e  $0,25 \text{ dag kg}^{-1}$ . Já para Pinto (2012), esses valores devem estar entre  $0,15$  e  $0,33$ , ilustrando a contribuição do ácido cítrico na disponibilização e consequente absorção de P pelas mudas de café.

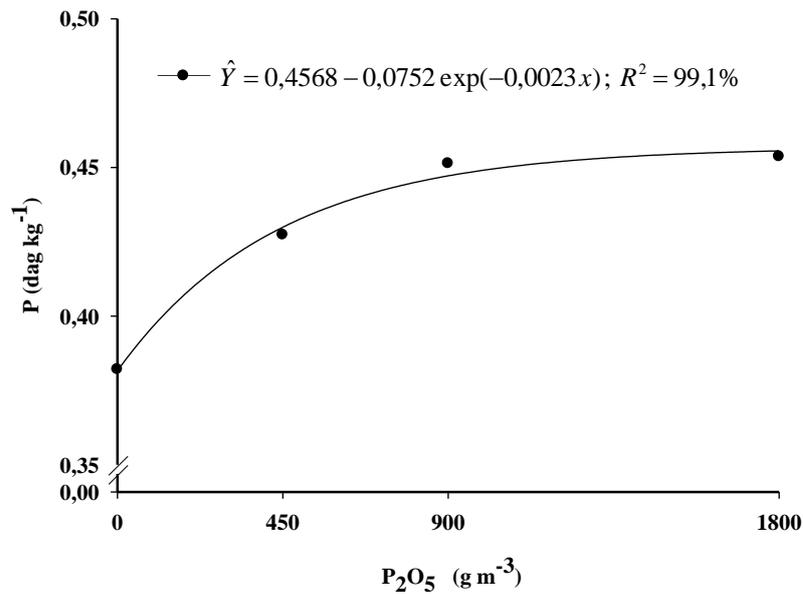


Figura 5 - Teor de P de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5\ g\ m^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

Após 180 dias de crescimento em solo contendo  $0,425\ g\ m^{-3}$  de ácido cítrico e  $859,87\ g\ m^{-3}$  de  $P_2O_5$ , as mudas de café apresentaram valor máximo de acúmulo de Ca, equivalente a  $0,84\ dag\ kg^{-1}$  (Figura 6). Considerando que o adubo utilizado foi superfosfato simples, que contém 18% de Ca, esse aporte do elemento nas folhas se deu em função do seu fornecimento. Além disso, a concentração de Ca diminuiu, provavelmente em função da solubilização com K, promovida pelo ácido cítrico, graças a processos de quelação e troca de ligantes, ou mesmo, em função do desbalanço nutricional em doses acima de  $859,87\ g\ m^{-3}$  de  $P_2O_5$  (FOX E COMERFORD, 1990). É importante salientar que em plantas crescidas em substrato sem a adição de  $P_2O_5$  houve acúmulo de  $0,79\ dag\ kg^{-1}$  de Ca, valor próximo ao limite superior de faixas críticas propostas por Gontijo et al. (2009).

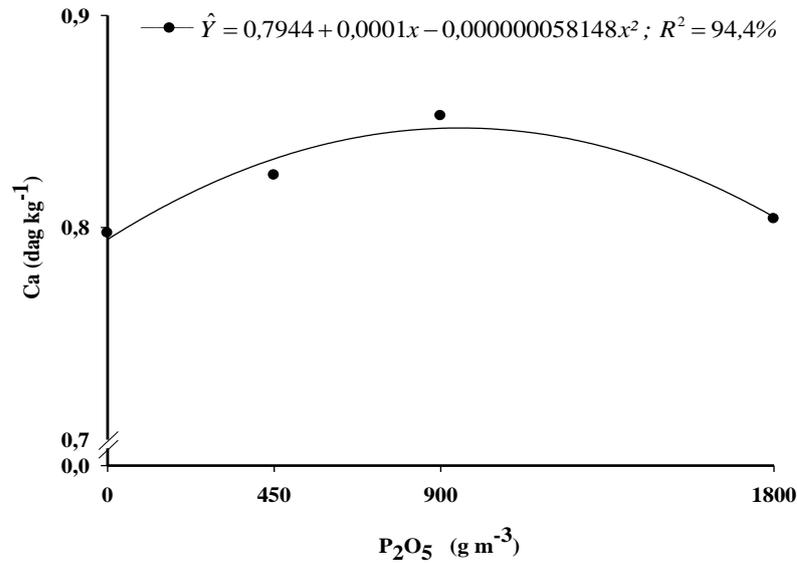


Figura 6 - Teor de Ca de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo 0,5 g m<sup>-3</sup> de ácido cítrico, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aos 180 dias após semeadura.

Com relação ao teor de Mg e S nas folhas, doses acima de 450 g m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> provocaram diminuição na concentração do primeiro elemento, por outro lado, a porcentagem de S foi influenciada positivamente com o aumento das doses de P, mas, com crescimento não muito evidente (Figura 7). De acordo com trabalhos realizados por Guimarães e Reis (2010), doses altas de P podem afetar o acúmulo de S nas plantas, caso o nível do mesmo no solo esteja abaixo do adequado. Destaca-se que as faixas críticas de Mg e S em folhas de mudas de café são respectivamente 0,11 a 0,12 e 0,15 a 0,24 dag kg<sup>-1</sup> (GONÇALVES et al., 2009).

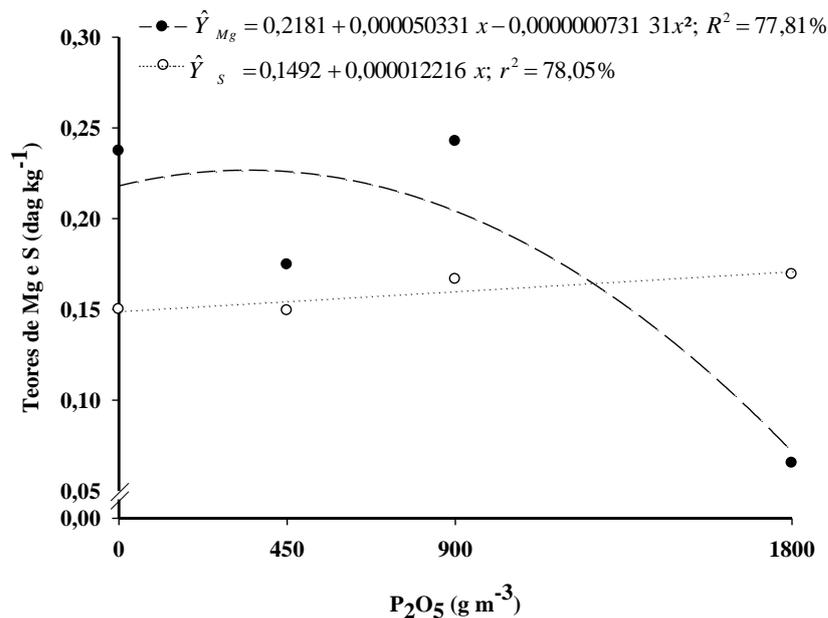


Figura 7 - Teor de Mg e S de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aos 180 dias após semeadura.

Os teores de K e Cu não foram afetados pelas doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  adicionadas ao substrato contendo o ácido cítrico ( $p > 0,05$ ). As concentrações médias desses nutrientes nas folhas foram:  $3,6 \text{ dag kg}^{-1}$  e  $8,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

Por outro lado, os teores de Fe, Mn e Zn tiveram seus teores afetados pelas doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $p < 0,01$ ). Para a concentração de Fe, houve teor máximo em concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  equivalente a  $642,03 \text{ g m}^{-3}$ , onde as folhas apresentaram  $221 \text{ mg kg}^{-1}$  do micronutriente (Figura 8-a). Já para Mn, o teor máximo nas folhas foi atingido com a maior dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e foi de  $36,7 \text{ mg kg}^{-1}$  (Figura 8-b). Esses valores são considerados similares àqueles determinados por Gontijo et al. (2007) como faixa crítica, mesmo onde houve apenas a adição do ácido cítrico e não a adubação com  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 8-b).

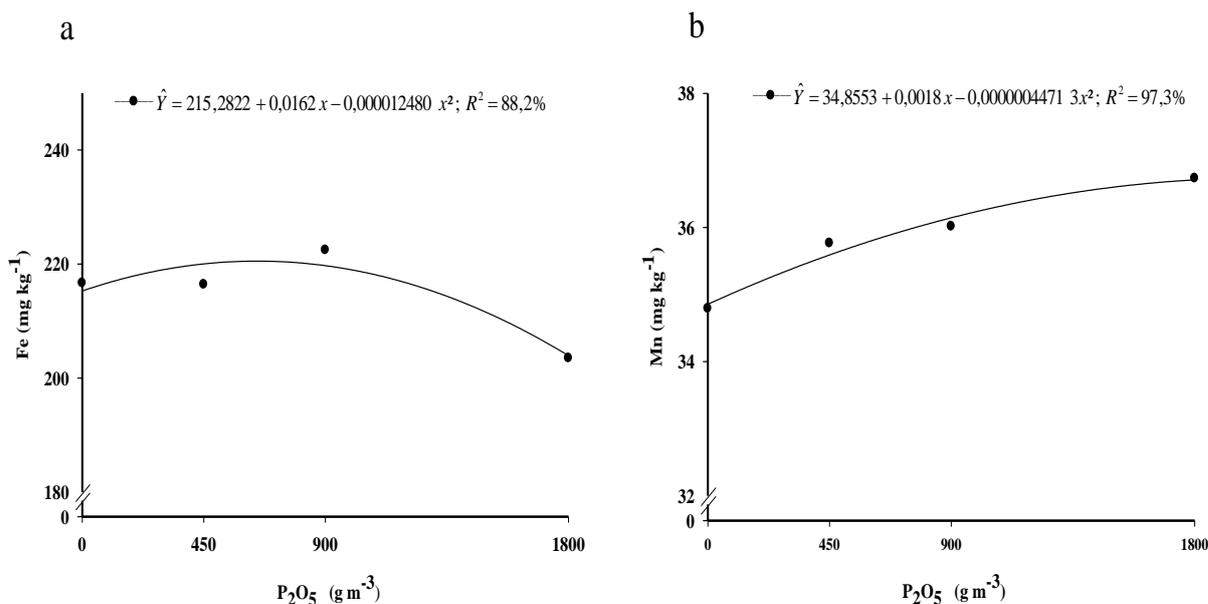


Figura 8 - Teor de Fe (a) e de Mn (b) de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , aos 180 dias após semeadura.

Finalmente, o teor de Zn teve seu maior valor na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Figura 9). Acima dessa dose de P no substrato do adubo fosfatado, há diminuição do aporte de Zn induzida justamente pelo P, pelo efeito da diluição, o que gera diminuição do transporte das raízes à parte aérea devido à baixa absorção e à inibição não competitiva (MALAVOLTA, 1980).

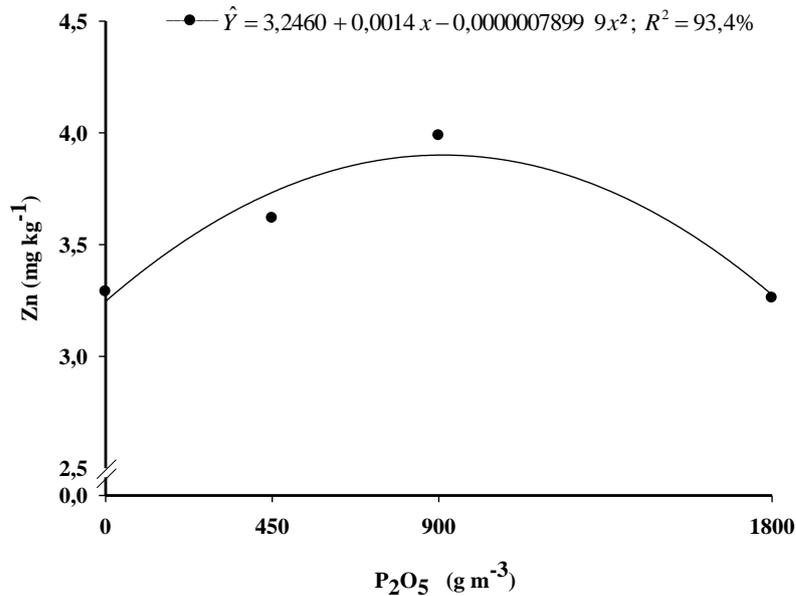


Figura 9 - Teor de Zn de mudas de café, de três variedades, crescidas em substrato contendo  $0,5\ g\ m^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

Salienta-se que os teores de Zn variaram entre  $3,28$  e  $3,98\ mg\ kg^{-1}$ , valores próximos àqueles estabelecidos por Gontijo et al. (2007). Observa-se também que onde não houve a aplicação de  $P_2O_5$  a concentração de Zn foi elevada nas folhas, indicando efeito do ácido cítrico, uma vez que se consegue com o efeito do mesmo uma redução na adsorção específica de Zn aos óxidos cristalinos, tornando o mesmo trocável devido ao aumento de cargas negativas na superfície dos óxidos (FORBES et al., 1976).

## CONCLUSÕES

As doses de  $P_2O_5$ , em substrato tratado com ácido cítrico, influenciaram o crescimento de mudas de café das cultivares Catuaí, Novo Mundo e Oeiras.

As variáveis relacionadas a crescimento e acúmulo de biomassa foram em sua maioria máximas na dose de  $900\ g\ m^{-3}$  de  $P_2O_5$ .

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro e provisão de recursos bem como a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de pesquisa cedida ao primeiro autor

## LITERATURA CITADA

ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for nondestructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.

BELAN, L. L. et al. Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. **Australasian Plant Pathol**, v. 44 p. 105–111, 2015.

CARMO, D. L. et al. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, 2014.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 306 p.

EL-SHATNAWI, M. K. J. AND MAKHADMEH, I. M. Ecophysiology of the Plant–Rhizosphere System. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 187, p. 1–9, 2001.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FOX, T.R. & COMERFORD, N.B. Low molecular weight organic acids in selected forest soil of the Southwestern USA. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 54:1139-1144, 1990.

FORBES, E.A.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb and Zn on goethite. **Journal of Soil Science**, Madison, v.27, p.154-166, 1976.

GONÇALVES, S. M. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 743-752, maio/ jun. 2009.

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. et al. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 135-141, 2007.

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. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. 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, p. 289-302, 1999.

GUIMARÃES, 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.

JONES, D.L. et al. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. **Plant and Soil**, The Hague, v. 248, n. 1-2, p. 31-41, 2003.

LEMOS, V.T et al. Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 298 - 308, jul./set. 2015

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 44-79, 104-218.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Instituto daPotassa & Fosfato, p. 165-274, 1986.

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

MARANA, J.P. et al. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008.

MARTINS, L. D. et al. The nutritional efficiency of *Coffea* spp. A review. **African Journal of Biotechnology**, Africa, v. 14, p. 728-734, 2015.

MELO, B. et al. Substratos, fontes e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Biosc. J.**; Uberlândia, v.19, n.2, p.35-44, 2003.

MELO, B. et al. 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, 2005.

SANTINATO, F. et al. Doses of phosphorus associated with nitrogen on development of coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 419-426, 2014.

SCERVINO, J. M. et al. Soil fungal isolates produce different organic acid patterns involved in phosphate salts solubilization. **Biology and Fertility of Soils**, Oxford, v. 46, n. 7, p. 755-763, 2010.

SOARES, L.T. et al. 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.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A.; Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PALOMO, L.; CLAASSEN, N.; JONES, D. L.; Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 683-692, 2006.

PINTO, C. G. **Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós-plantio**. 2012. 66p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

TOMAZ, M. A. et al. Comparison of nutritional efficiency among hydroponic grafted young coffee trees for N, P, and K. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.4 p. 92-99, 2004.

WEI, L.; CHEN, C.; XU, Z.; Citric acid enhances the mobilization of organic phosphorus in subtropical and tropical forest soils. **Biology an Fertility of Soils**, Oxford, v. 46, n. 7, p. 765-769, 2010.

## ARTIGO CIENTÍFICO II

### PARCELAMENTO DE ÁCIDO CÍTRICO NA REDUÇÃO DO FÓSFORO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ

#### RESUMO

O efeito benéfico do ácido cítrico no crescimento e nutrição de mudas de café e a dinâmica do mesmo no solo não são comprovados na literatura, portanto, objetivou-se no presente trabalho avaliar o efeito do parcelamento do ácido cítrico no crescimento e acúmulo de nutrientes, por mudas de café, em substrato com aplicação de doses de fósforo. Para isso, em casa de vegetação, foi montado um experimento em fatorial, de tal forma que um fator foi composto por doses de  $P_2O_5$  de 0, 450, 900 e 1.800  $mg\ dm^{-3}$  e o outro pelo parcelamento da dose de 0,5  $mg\ dm^{-3}$  do ácido (1, 2, 3 e 4 vezes a partir da emissão das primeiras folhas cotiledonares). Após crescimento por 120 dias, as plantas foram avaliadas quanto ao crescimento, acúmulo de massa e de nutrientes e teor de clorofila, além disso, foi avaliado os teores de fósforo e zinco no substrato. Observou-se que o parcelamento do ácido cítrico em três vezes otimizou a adubação fosfatada, além de reduzi-la na produção de mudas de café.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, Catuaí Vermelho IAC 52, Ácido cítrico, substrato.

## ACID CITRIC INSTALLMENT IN REDUCING THE MATCH ON COFFEE SEEDLING PRODUCTION

### ABSTRACT

The beneficial effects of citric acid on the growth and coffee seedling nutrition and the dynamics of it in the soil are not proven in the literature, so we aimed at in this work was to evaluate the effect of citric acid installment in the growth and accumulation of nutrients, by coffee seedlings in substrate with application of phosphorus levels. For this, in vegetation house, an experiment in factorial was mounted in such a way that one factor was composed of  $P_2O_5$  doses of 0, 450, 900 and 1,800  $mg\ dm^{-3}$ , and the other by the split dose of 0,5  $mg\ dm^{-3}$  acid (1, 2, 3 and 4 times the emission from the first cotyledon leaves). After growth for 120 days, the plants were evaluated for growth and biomass accumulation of nutrients and chlorophyll content, moreover, it was assessed the levels of phosphorus and zinc to the substrate. It was observed that the division of citric acid three times optimized the phosphorus fertilizer, and reduce it in the production of coffee seedlings.

**Keywords:** *Coffea arabica*, Catuaí Vermelho IAC 52, organic acids, substrate.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é referência mundial em cultivo e comércio de café, principalmente cultivares da espécie *Coffea arábia* L. No país, o Estado de Minas Gerais é o principal produtor e nos últimos anos, vários fatores técnicos, gerenciais e até aqueles advindos de fora da fazenda têm dificultado o cultivo e a rentabilidade da atividade. O que exige dos produtores cada vez mais atenção às etapas de produção (COSTA et al., 2015).

Por ser uma planta perene, a fase de produção de mudas é fundamental para se formar uma lavoura produtiva. Normalmente, as mesmas são produzidas em substrato contendo solo e compostos orgânicos, nesse sentido, deve-se dar atenção às características físicas e químicas desses materiais, pois influenciarão diretamente a qualidade da muda e sua capacidade de rápida aclimação no campo, bem como resistência aos fatores bióticos e abióticos influentes na produção (MATIELO et al., 2005).

Dentre tais características do substrato, maior destaque é dado aos teores de fósforo disponível. Normalmente, a disponibilidade desse elemento é limitada à planta em função de sua afinidade com a fase mineral do solo (PRADO; VALE; ROMULADO, 2005). Sua ausência ou presença em baixas concentrações no solo contribuem para a má formação da planta, pois o mesmo está envolvido na síntese de diversas moléculas, armazenamento e transporte de energia, resistência ao frio, divisão celular, uso eficiente dos recursos do meio etc (NOVAIS e SMYTH, 1999).

A baixa oferta de fósforo às mudas de café muitas vezes não está relacionada ao não fornecimento do adubo. Por meio de ligações covalentes, o ânion fosfato é retido na fase mineral do solo ou forma precipitado com Fe, Al, e Ca. A adsorção a óxidos e hidróxidos de Fe e Al é ainda maior em solos intemperizados e com alto teor de argila (NOVAIS et al., 2007). Adicionalmente, uma das características mais importantes nas mudas de café é o sistema radicular, nesse sentido, o fósforo é muito limitante ao desenvolvimento de raízes, de tal forma, que o nível crítico do elemento para desenvolvimento das raízes é maior que para a parte aérea (NOVAIS e SMITH, 1999).

Por esse motivo, são citadas estratégias para a utilização mais eficiente de fósforo pelas mudas de café. Para Carmo et al. (2014), a utilização de organomineral é indicada para produção de mudas com resultados superiores aos métodos tradicionais de adubação. Porém, para Melo et al. (2003) o melhor substrato é composto por 60% de composto orgânico e superfosfato simples como fonte de fósforo.

Sabe-se que a presença de ácidos orgânicos na região da rizosfera das plantas tem relação direta com a maior solubilização e consequente disponibilização de fósforo para absorção (JONES et al., 1998).

Os ácidos orgânicos agem solubilizando o fósforo precipitado com Al ou Fe na solução do solo, além disso, competem com os sítios de adsorção do elemento nos argilominerais (WEI et al., 2010), por isso, ácidos como oxálico, málico e especialmente o cítrico estão envolvidos em diversos estudos relacionados ao melhor aproveitamento de fósforo por plantas. Os trabalhos de Jones et al. (1998), Gunes et al. (2015), dentre outros, relacionam o efeito positivo dos ácidos à melhor absorção de fósforo e ao melhor desenvolvimento vegetal.

Por isso, Lemos et al. (2015) observaram que a adição de  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de ácido cítrico ao substrato contribuiu para a maior absorção de fósforo por mudas de café e, de forma indireta, aumentou o teor de diversos elementos nas plantas, bem como incrementou o acúmulo de matéria seca, o que levou a uma utilização otimizada da fonte de fósforo adicionada ao substrato. Porém, sabe-se que a ação do ácido cítrico no solo é muito dinâmica e influenciada por diversos fatores edáficos, de tal forma, que o teor de ácidos, produzido naturalmente, são rapidamente degradados no solo pelos microrganismos, apresentando uma semi-vida de poucas horas no solo (RYAN et al., 2003). Por outro lado, a adição artificial aumenta os benefícios da maior disponibilização de fósforo (HEES et al., 2003).

Nesse sentido, é necessário avaliar se há relação entre o parcelamento do ácido cítrico e dosagens de fósforo, no crescimento das mudas de café. Por isso, objetivou-se com o trabalho estudar o parcelamento de ácido cítrico no crescimento de mudas de café em substrato contendo adubo fosfatado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para verificação da hipótese acima apresentada, foi conduzido um experimento em casa de vegetação de outubro de 2013 a março de 2014. O material escolhido para a execução do trabalho foi o Catuaí Vermelho IAC 52.

O delineamento adotado foi de blocos ao acaso, com tratamentos esquematizados em fatorial  $4 \times 4$ . Tais fatores foram compostos pela aplicação de ácido cítrico na dosagem de  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  em quatro formas: uma aplicação; duas aplicações equivalentes a 50% da dose em intervalo de 30 dias, três e quatro subdivisões da dose, mantendo-se o mesmo intervalo de 30 dias.

O outro fator foi composto por quatro doses de  $P_2O_5$ : 0, 450, 900 e 1.800  $mg\ dm^{-3}$ , na forma de superfosfato simples. Adicionalmente, foram incluídas controles com relação adubo e ao ácido cítrico, em única aplicação, sem adição de  $P_2O_5$  e  $P_2O_5$ , sem adição de ácido cítrico, em dosagem de 900  $mg\ dm^{-3}$ . Destaca-se que cada saquinho com uma planta compunha uma unidade experimental e foram utilizadas quatro repetições.

O substrato foi composto pela mistura de 300 L de esterco de curral curtido; 0,5 kg de cloreto de potássio e 700 L de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). O solo (Tabela 1), foi adubado de acordo com recomendações de Guimarães et al. (1999), porém, excetuando-se a adição de  $P_2O_5$ , que foi fator em estudo. Após, o substrato foi adicionado em sacolas plásticas usualmente utilizadas na produção de mudas, com volume de 0,85  $dm^3$ . Colocou-se duas sementes por sacola. Após a emergência das plântulas, e quando as mesmas se encontravam no estágio de primeiras folhas cotiledonares, e então realizada a adição do segundo fator em estudo: o parcelamento de ácido cítrico: 1, 2, 3 e 4 divisões da dosagem de 0,5  $mg\ dm^{-3}$ , equivalente a 0,425  $mg\ planta^{-1}$ .

Tabela 1 – Atributos físicos e propriedades químicas do Latossolo Vermelho distrófico, utilizado no substrato do experimento.

<b>Análise granulométrica (<math>g\ kg^{-1}</math>)</b>												
<b>Areia</b>	<b>Silte</b>		<b>Argila</b>	<b>Classe Textural</b>								
.....%.....												
470	190		340	Textura Média								
<b>Análise química</b>												
<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>SB</b>	<b>t</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>M.O.</b>	
<b>H<sub>2</sub>O</b>	.....mg <b>dm<sup>3</sup>.....</b>		.....cmolc dm <sup>3</sup> .....								<b>%</b>	<b>dag kg<sup>-1</sup></b>
5,9	1,6	26	1,3	0,7	0	2,4	2,0	2,1	5	46	0,9	

pH<sub>água</sub>: relação solo-água 1:2,5; P e K: Extrator Mehlich-1; Ca, Mg, Al: Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; M.O.: Matéria Orgânica - Método Walkey & Black

Sob cuidados em casa de vegetação, as plantas se desenvolveram por 180 dias, quando apresentaram entre quatro e cinco pares de folhas definitivas. Nesse ponto, foram realizadas as seguintes avaliações: altura das plantas (distância do colo até gema terminal do ramo ortotrópico) e área foliar ( $cm^2$ ), sendo esta realizada de acordo com o método não destrutivo, proposto por Antunes et al. (2008). Foi também avaliado o teor de clorofila das plantas utilizando-se de um clorofilômetro digital portátil.

Posteriormente, as plantas foram cortadas rente ao solo, divididas em folhas, caules e raízes, lavadas com água destilada e foi determinada a massa seca de todas as porções (após secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C). Após pesado, o material foi triturado em moinho tipo Wiley, peneirado e seguiu-se à determinação da concentração foliar de nutrientes (P, K, Ca, Mg e Zn) segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Finalmente, foi realizada análise do substrato objetivando-se a determinação dos teores de P e Zn.

Para comparação dos efeitos dos tratamentos, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias ranqueadas de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. Houve a comparação entre as médias dos tratamentos e tratamentos adicionais através do teste F.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao crescimento das plantas, não foi observado efeito positivo em relação as médias de parcelamento e as médias entre as dosagens de  $P_2O_5$ , e a interação entre esses fatores para a variável altura. Porém observa-se que onde houve adição do ácido cítrico, as mudas apresentaram médias 35,6% e 18% superiores as plantas tratadas com substrato sem o ácido

Após análise dos dados, não foi observada interação entre os fatores, porém, houve efeito significativo dos fatores principais (parcelamento de ácido cítrico e doses de  $P_2O_5$ ) no crescimento, acúmulo de massa e teores foliares dos nutrientes nas plantas de café.

Com relação ao crescimento das plantas, houve incremento médio em altura equivalente a 36,7% quando comparadas aquelas que cresceram onde havia o ácido cítrico, com relação às outras crescidas em substrato sem o ácido e sem a adição de  $P_2O_5$  (Tabela 2). Destaca-se que esse crescimento maior não foi influenciado pela dose de  $P_2O_5$ . O acúmulo médio observado foi de 14,6 cm. Para o mesmo parâmetro, não houve diferenças entre o parcelamento de ácido cítrico (Tabela 2).

O efeito benéfico do ácido cítrico foi evidenciado quando avaliada a área foliar das mudas. Aquelas não adubadas com  $P_2O_5$ , e que não receberam o ácido, produziram apenas 298,7 cm<sup>2</sup> em área foliar, ao passo que a adição de 900 mg dm<sup>-3</sup> às mesmas produziu área foliar equivalente a 441,62 cm<sup>2</sup>. Por outro lado, quando tratadas com o ácido, as mudas produziram em média 527,21 cm<sup>2</sup> quando não adubadas com  $P_2O_5$  ou adubadas com 900 mg

dm<sup>-3</sup> do adubo. Destaca-se também que, onde não houve adubação com fósforo, mas adição de ácido cítrico, a área foliar das plantas foi 76,05% maior (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros fitotécnicos em mudas de café (Catuaí Vermelho IAC 52), após cultivo em substrato tratado com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e ácido cítrico (0,5 g m<sup>-3</sup>) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.

Parcelamentos de ácido cítrico	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g m <sup>-3</sup> )				Médias
	0	450	900	1.800	
<b>Altura de plantas (cm)</b>					
1	12,68 <sup>1</sup>	14,70	12,38	13,98	13,44 A
2	15,50	17,45	14,97	12,88	15,20 A
3	16,45	14,85	16,43	15,13	15,72 A
4	13,58	16,33	15,20	11,45	14,14 A
Médias	14,55 a	15,83 a	14,75 a	13,36 a	
T. Adicional <sup>2</sup>	10,73**		12,40**		
CV (%)	----- 18,99 -----				
<b>Área foliar (cm<sup>2</sup>)</b>					
1	438,84	548,86	389,16	467,36	461,06 A
2	547,25	628,97	502,87	457,61	534,18 AB
3	651,70	478,48	651,90	586,97	592,26 B
4	471,05	613,14	540,91	379,67	501,19 A
Médias	527,21 ab	567,36 b	521,21 ab	472,90 a	
T. Adicional	298,70**		441,62**		
CV (%)	----- 16,55 -----				
<b>Clorofila (%)</b>					
1	64,70	65,50	65,80	58,98	63,75 A
2	62,27	65,07	61,47	59,98	62,19 A
3	63,52	65,81	61,29	54,71	61,33 A
4	62,79	68,76	67,93	61,36	65,21 A
Médias	63,32 ab	66,28 b	64,12 ab	58,76 a	
T. Adicional	61,87 <sup>ns</sup>		59,94 <sup>ns</sup>		
CV (%)	----- 10,53 -----				

<sup>1</sup>Médias seguidas por mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. \*\*Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais<sup>(2)</sup>. <sup>ns</sup>Não significativo.

A variável área foliar é de grande importância no desenvolvimento de mudas, pois considera a relação entre alocação de nutrientes e fotoassimilados e o crescimento das plantas (FAVARIN et al., 2002). Na presente situação, a maior área foliar e a maior altura de plantas conferem maior competitividade das mudas frente às adversidades no campo.

O parcelamento do ácido cítrico em três vezes proporcionou mudas com maior área foliar em relação a um ou quatro parcelamentos, porém, de forma independente da adubação fosfatada do substrato. Da mesma forma, dentro da dose de  $P_2O_5$ , porém independente do parcelamento, aquela igual a  $450\text{ mg dm}^{-3}$  produziu plantas com maior área foliar em relação ao substrato onde foi adicionado  $1.800\text{ mg dm}^{-3}$  (Tabela 2).

A ação dos ácidos orgânicos no solo é muito dinâmica. Muitas vezes os mesmos são degradados em poucas horas (PALOMO et al. 2005), e ainda, fatores como: teor de água, pH, disponibilidade de cátions e atividade microbiana têm influência direta na atividade. Isso evidencia que o parcelamento do ácido cítrico é benéfico ao crescimento das mudas.

Com relação aos teores de clorofila nos limbos foliares das mudas de café, não foram observadas diferenças entre os tratamentos dentro das variações de parcelamento de ácido cítrico, com valores médios próximos a 63,12%. Porém, quando tratadas com o ácido e com  $450\text{ mg dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$  as mudas apresentaram teor de clorofila superior às tratadas com  $1.800\text{ mg dm}^{-3}$  do adubo (Tabela 2). De acordo com Guimarães e Reis (2010), doses crescentes de ácido cítrico aplicados em substrato com  $1.800\text{ mg dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$ , apresentaram uma redução na qualidade das mudas estudadas.

A massa seca das folhas de café foi influenciada pela dosagem de  $P_2O_5$  aplicada ao substrato bem como pelo ácido cítrico e seu parcelamento. Plantas que receberam o parcelamento em duas ou três vezes produziram em média 3,18 g em matéria seca, ao passo que aquelas crescidas sob única dose do ácido acumularam 2,57 g. Ademais, onde não houve adição de  $P_2O_5$ , a massa das folhas foi 76% superior em mudas sob a aplicação do ácido cítrico. E ainda, diante de dose equivalente a  $900\text{ mg dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$  esse valor foi igual a 35% (Tabela 3).

Tabela 3-Acúmulo de matéria seca por mudas de café (Catuaí Vermelho IAC 52), após cultivo em substrato tratado com  $P_2O_5$  e ácido cítrico ( $0,5\text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias a partir do estágio “orelha de onça”.

Parcelamento de ácido cítrico	$P_2O_5$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )				Médias
	0	450	900	1.800	
	<b>Massa seca da folha (g)</b>				
1	2,42	3,08	2,24	2,54	2,57 A
2	2,86	3,38	3,37	2,98	3,15 B
3	3,78	2,93	3,18	2,94	3,21 B
4	2,53	3,56	3,33	2,15	2,89 AB
Médias	2,90 ab	3,24 b	3,03 ab	2,65 a	

T. Adicional <sup>2</sup>	1,65**		2,24**		
CV (%)	----- 20,95 -----				
<b>Massa seca do caule (g)</b>					
<b>1</b>	0,67	0,80	0,61	0,75	0,71 A
<b>2</b>	0,82	0,95	0,80	0,76	0,83 A
<b>3</b>	1,01	0,78	0,78	0,78	0,84 A
<b>4</b>	0,76	0,92	0,90	0,58	0,79 A
<i>Médias</i>	0,81 a	0,86 a	0,77 a	0,72 a	
T. Adicional	0,46**		0,55**		
CV (%)	----- 33,77 -----				
<b>Massa seca de raízes (g)</b>					
<b>1</b>	0,80	1,03	0,84	1,27	0,98 A
<b>2</b>	1,44	1,49	1,31	1,22	1,36 B
<b>3</b>	1,48	1,17	1,65	1,56	1,46 B
<b>4</b>	0,75	1,78	1,42	1,38	1,33 B
<i>Médias</i>	1,11 a	1,37 b	1,30 ab	1,36 ab	
T. Adicional	0,52**		0,76**		
CV (%)	----- 20,45 -----				
<b>Massa seca total (g)</b>					
<b>1</b>	3,86	4,96	4,18	4,56	4,39 A
<b>2</b>	4,36	5,83	4,76	4,81	4,94 AB
<b>3</b>	6,51	4,38	5,60	5,53	5,51 B
<b>4</b>	4,04	6,25	4,89	3,95	4,78 AB
<i>Médias</i>	4,69 a	5,35 a	4,86 a	4,71 a	
T. Adicional <sup>2</sup>	2,63**		2,55**		
CV (%)	----- 17,09 -----				

<sup>1</sup>Médias seguidas por mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. \*\*Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais<sup>(2)</sup>. <sup>ns</sup>Não significativo.

Os valores de massa seca do caule também foram influenciados pela aplicação do ácido cítrico, principalmente quando não houve adição de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Mas, não houve interferência do parcelamento. Mudas adubadas com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (900 mg dm<sup>-3</sup>) produziram 0,55 gramas quando não tratadas com ácido cítrico e 0,77 quando o mesmo fora adicionado. Da mesma forma, quando não houve a aplicação do adubo fosfatado, a adição do ácido proporcionou acúmulo de massa no caule 76% superior (Tabela 3).

A massa seca total das mudas de café também foi melhor beneficiada diante da aplicação de ácido cítrico e em três parcelamentos. Principalmente, quando houve a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Em substrato sem o adubo fosfatado o ganho em massa seca foi equivalente a 78%, ao passo que aquele conseguido onde havia 900 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi de 90% (Tabela 3).

Da mesma forma, os valores de massa seca das raízes foram influenciados pelos tratamentos. As médias foram maiores onde houve a aplicação de ácido cítrico e o parcelamento. Além disso, o incremento foi maior (79%) onde não foi realizada adubação fosfatada (Tabela 3).

Quando tratadas com o ácido cítrico, as mudas também apresentaram diferentes teores de fósforo nas folhas em função do parcelamento. Quando esse foi realizado em três vezes, o acúmulo do nutriente foi de 0,34 dag kg<sup>-1</sup>, ao passo que, quando aplicado de uma só vez, o acúmulo foi 41% menor. Além disso, o acúmulo médio de fósforo pelas plantas foi de 0,26 dag dm<sup>-3</sup> não influenciado pela dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adicionada (Tabela 4). Para o crescimento de mudas, os valores críticos de fósforo nos tecidos foliares devem estar entre 0,22 e 0,25 dagkg<sup>-1</sup> (Gonçalves et al.,2009), dessa forma, dada as condições do substrato em questão (Tabela 1), observa-se resultado positivo do ácido cítrico na nutrição fosforada das mudas de café.

Tabela 4 -Teor de elementos minerais em folhas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) após cultivo em substrato tratado com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e ácido cítrico (0,5 g m<sup>-3</sup>) em parcelamento a cada 30 dias apartir do estágio “orelha de onça”.

Parcelamento de ácido cítrico	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )				Médias
	0	450	900	1.800	
	<b>Fósforo (dag kg)</b>				
1	0,15	0,20	0,22	0,21	0,20 A
2	0,26	0,28	0,25	0,30	0,27 AB
3	0,28	0,34	0,37	0,34	0,34 B
4	0,18	0,24	0,28	0,21	0,23 AB
Médias	0,22 a	0,27 a	0,28 a	0,26 a	
T. Adicional <sup>2</sup>	0,27 <sup>ns</sup>		0,23 <sup>ns</sup>		
CV (%)	----- 25,95 -----				
	<b>Potássio (dag kg)</b>				
1	7,88	6,33	7,70	6,26	7,04 AB
2	7,44	6,61	6,40	7,01	6,86 A
3	7,25	7,89	8,20	6,35	7,42 B
4	6,83	6,02	7,38	7,18	6,85 A
Médias	7,35 a	6,71 a	7,42 a	6,70 a	
T. Adicional	7,49 <sup>ns</sup>		6,57 <sup>ns</sup>		
CV (%)	----- 15,11 -----				
	<b>Cálcio (dag kg)</b>				

<b>1</b>	0,10	0,14	0,11	0,14	0,12 A
<b>2</b>	0,13	0,16	0,12	0,19	0,15 B
<b>3</b>	0,12	0,16	0,17	0,17	0,16 B
<b>4</b>	0,10	0,17	0,12	0,16	0,14 AB
<i>Médias</i>	0,11 a	0,16 b	0,13 ab	0,16 b	
T. Adicional	0,12**		0,08**		
<i>CV (%)</i>	----- 21,23 -----				
<b>Magnésio (dag kg)</b>					
<b>1</b>	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01 A
<b>2</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02 B
<b>3</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02 B
<b>4</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02 B
<i>Médias</i>	0,02 a	0,02 a	0,02 a	0,01 a	
T. Adicional	0,01 <sup>ns</sup>		0,01 <sup>ns</sup>		
<i>CV (%)</i>	----- 26,43 -----				

<sup>1</sup>Médias seguidas por mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. \*\*Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais<sup>(2)</sup>. <sup>ns</sup>Não significativo.

Resultado semelhante pôde ser observado diante da avaliação do teor de potássio nas folhas: quando tratadas com ácido cítrico, em três parcelamentos, o acúmulo do mineral foi de 7,42 dag kg<sup>-1</sup>, valor superior àqueles determinados onde houve duas e quatro aplicações. Mais uma vez, não houve efeito da dosagem de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no acúmulo de potássio; os valores médios ficaram em torno de 7,05 dag kg<sup>-1</sup> (Tabela 4).

Os teores de cálcio nas folhas foram influenciados pela aplicação e parcelamento de ácido cítrico e pela dosagem de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, porém, não houve interação entre o parcelamento e as doses. Diante de duas ou três aplicações de ácido cítrico, as mudas acumularam cerca de 0,15 dag kg<sup>-1</sup> de cálcio, valor superior àquele determinado em mudas que receberam o ácido em dose única (0,12 dag kg<sup>-1</sup>). Já, as mudas que cresceram em substrato tratado com ácido cítrico e 450 ou 1.800 g dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> acumularam aproximadamente 0,16 dag kg<sup>-1</sup> de cálcio. (Tabela 4).

Como a fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi o superfosfato simples, o qual possui cálcio em sua formulação, onde não foi adicionado esse fertilizante ao substrato, pôde-se observar um teor ainda menor de cálcio em relação aos substratos tratados. Sita-se também que o ácido cítrico contribui em processos de quelação e troca de ligantes e solubilização de precipitados químicos (P-Ca) (SILVA et al., 2002). Isso contribuiu ainda mais para a diminuição do elemento na solução do solo, devido a inibição competitiva, diminuindo a absorção pela

planta deste nutriente, que estará ligado ao ácido cítrico após a aplicação desse ácido orgânico (GUIMARÃES; REIS, 2010).

Ainda sobre teor de cálcio, as mudas apresentaram menor teor quando crescidas em solo sem a adição de  $P_2O_5$ , mas com o ácido cítrico ( $0,11 \text{ dag kg}^{-1}$ ), e valor superior quando não adicionado o ácido. Porém, quando adicionada a dose de  $900 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$ , o teor do nutriente foi inferior onde não houve a adição do ácido, quando o valor obtido foi de  $0,08 \text{ dag kg}^{-1}$  de cálcio (Tabela 4).

O parcelamento da aplicação de ácido cítrico afetou o teor de magnésio. Onde houve a subdivisão da dose de ácido cítrico, o teor do nutriente foi 100% superior com relação a uma aplicação somente ( $0,02 \text{ dag kg}^{-1}$ ). Porém, não houve efeito da dose de  $P_2O_5$  na concentração do elemento nas folhas, independente da adição de ácido cítrico (Tabela 4).

A absorção de Zn por plantas de café é inversamente relacionada à absorção de P em condições normais. Tais elementos apresentam inibição não competitiva (Malavolta, 2006). Nesse sentido, os maiores teores de Zn nas plantas crescidas em substrato ausente de ácido cítrico podem estar relacionados ao aumento da concentração foliar de fósforo após adição do ácido. Por outro lado, a maior absorção de Zn, conseguida graças à adição de  $P_2O_5$ , pode estar relacionada à alta oferta de Zn no solo evidenciada pelos altos teores nas plantas independente do tratamento e de acordo com os valores críticos descritos por Gontijo et al. (2007).

Tabela 5 - Teor de zinco em folhas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) após cultivo em substrato tratado com  $P_2O_5$  e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias a partir do estágio “orelha de onça”.

Parcelamento de ácido cítrico	$P_2O_5$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )				Médias
	0	450	900	1.800	
	<b>Zinco (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>				
1	8,56	8,71	11,18	6,96	8,85 A
2	9,53	8,69	9,45	9,58	9,31 A
3	11,04	8,82	10,54	8,68	9,77 A
4	8,82	11,30	10,12	8,08	9,58 A
Médias	9,49 a	9,38 a	10,32 a	8,33 a	
T. Adicional <sup>2</sup>	13,68**		14,46**		
CV (%)	----- 28,55 -----				

<sup>1</sup>Médias seguidas por mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. \*\*Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais<sup>(2)</sup>.

Com relação ao teor de fósforo no solo, foi observado efeito significativo após aplicação do ácido cítrico, independente do parcelamento. Onde não houve a aplicação do ácido, a concentração de  $P_2O_5$  foi equivalente a  $11 \text{ mg dm}^{-3}$ , porém, com a adição do ácido, esse valor foi igual a  $10,4 \text{ mg dm}^{-3}$ , em determinações onde não foi realizada adição de  $P_2O_5$ . Finalmente, em solo sem a adição de ácido cítrico, o acúmulo de zinco é aumentado em 5,7% quando em substrato contendo  $900 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $P_2O_5$  com relação ao solo sem o adubo (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de fósforo e zinco em substrato cultivado por 120 dias por plantas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) e tratado com  $P_2O_5$  e ácido cítrico ( $0,5 \text{ g m}^{-3}$ ) em parcelamento a cada 30 dias a partir do estágio “orelha de onça”.

Parcelamento de ácido cítrico	$P_2O_5$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )				Médias
	0	450	900	1.800	
	<b>Fósforo (<math>\text{mg dm}^{-3}</math>)</b>				
<b>1</b>	10,83	31,49	48,29	103,95	48,64a
<b>2</b>	9,06	23,93	42,40	119,25	48,66a
<b>3</b>	11,33	22,38	44,31	93,75	42,94a
<b>4</b>	10,21	29,42	48,16	99,09	46,72a
<i>Médias</i>	10,36a	26,80b	45,79c	104,01d	
T. Adicional <sup>2</sup>	10,99**		40,93**		
CV (%)	----- 15,00 -----				
	<b>Zinco (<math>\text{mg kg}^{-1}</math>)</b>				
<b>1</b>	0,67	0,67	0,67	0,61	0,66a
<b>2</b>	0,63	0,68	0,63	0,82	0,69AB
<b>3</b>	0,70	0,63	0,65	0,61	0,65a
<b>4</b>	0,68	0,78	0,79	0,64	0,72B
<i>Médias</i>	0,67a	0,69 <sup>a</sup>	0,69a	0,67a	
T. Adicional	0,66 <sup>ns</sup>		0,66 <sup>ns</sup>		
CV (%)	----- 9,20 -----				

<sup>1</sup>Médias seguidas por mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de significância. \*\*Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais<sup>(2)</sup>. <sup>ns</sup>Não significativo.

Tais fatos podem ser explicados em virtude da maior mineralização da matéria orgânica e pelo efeito de solubilização do fosfato nos tratamentos que receberam  $P_2O_5$ , sendo que em resultados de nutrição foliar fica evidente a contribuição dos tratamentos para o melhor acúmulo de todos os nutrientes, principalmente com relação aos níveis críticos propostos por Gonçalves et al. (2009), Pinto et al. (2012) e Gontijo et al. (2004).

Quando foi adicionado o adubo fosfatado, na dose de  $900 \text{ mg dm}^{-3}$ , a concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na solução do solo foi de  $45,8 \text{ mg dm}^{-3}$  quando em substrato tratado com ácido cítrico. Por outro lado, quando não havia o mesmo, esse teor foi menor e equivalente a  $40,93 \text{ mg dm}^{-3}$ . Portanto, a adição de ácido cítrico ao solo, adubado com  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  promove maior disponibilização desse nutriente à solução do solo (Tabela 6).

Os teores de zinco no solo, após adição de ácido cítrico e doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , variaram de  $0,61$  a  $0,82 \text{ mg dm}^{-3}$ , valores não influenciados pela dose do adubo fosfatado, mas sim, pelo parcelamento do ácido cítrico. Quando o ácido foi aplicado em quatro vezes, o teor de zinco no solo foi equivalente a  $0,72 \text{ mg dm}^{-3}$ , superior em  $0,07 \text{ mg}$  em relação àqueles determinados nos tratamentos referentes ao parcelamento em três vezes ou aonde não houve o parcelamento (Tabela 6). Mais uma vez, tal fato evidencia que nas condições do trabalho, o parcelamento da dose de  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de ácido cítrico, em quatro vezes, é favorável à melhor disponibilização de elementos de baixa solubilidade no substrato e conseqüentemente apresenta maior potencial para uma nutrição mais equilibrada e sustentável das mudas de café.

## CONCLUSÕES

Para as variáveis de crescimento, os maiores incrementos foram conseguidos em dois ou três parcelamentos de ácido cítrico e diante de  $450$  ou  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

O parcelamento de ácido cítrico alterou os teores foliares de fósforo, potássio e magnésio e proporcionou maior teor de zinco.

A aplicação de ácido cítrico influenciou o teor de fósforo no substrato, principalmente em conjunto com a dose de  $450 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

O teor de zinco no substrato foi alterado pelo parcelamento do ácido cítrico, sendo o parcelamento em quatro vezes superior à aplicação da dose em uma só vez.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado. A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pela infraestrutura necessária para condução do experimento. Ao Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF) pelo apoio na execução deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for nondestructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, Oxford, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.
- CARMO, D. L. et al. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, 2014.
- COSTA, C. H. G. et al. Fatores condicionantes da gestão de riscos de cafeicultores do sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, v. 17, n.1, p.40-55, 2015
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 306 p.
- FAVARIN, J. L. et al. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.
- GONÇALVES, S. M. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 743-752, maio/ jun. 2009.
- 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.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. 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, p. 289-302, 1999.
- GUIMARÃES, 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.
- HINSINGER, P. et al. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. **Plant and Soil**, v.248, p.43-59, 2003.
- JONES, D. L. Organic Acids in the Rhizosphere – a Critical Review. **Plant and Soil** 205(1):25-44, 1998
- GUNES, et al 2015. Fertilizer Efficiency of Some Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Plant Growth. **Research Journal of Soil Biology**, 2015. ISSN 1819-3498.
- LEMOS, V.T et al. Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 298 - 308, jul./set. 2015.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2005, 438p.

MELO, B. et al. Substratos, fontes e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Biosc. J.**; Uberlândia, v.19, n.2, p.35-44, 2003.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 644-653, 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.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PALOMO, L.; CLAASSEN, N.; JONES, D. L. Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 683-692, 2006.

PINTO, N. A. V. D. Avaliação química e sensorial de diferentes padrões de bebida do café arábica cru e torrado. 2002. 92p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

PRADO, R. M.; VALE, D. W.; ROMUALDO, L. M. Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 03, p. 493-498, 2005.

Ryan, P.R., Dong, B., Watt, M., Kataoka, T., Delhaize, E., 2003. Strategies to isolate transporters that facilitate organic anion efflux from plant roots. **Plant and Soil** 248, 61–69.

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.

van HEES, P.A.W., VINOGRADOFF, S.I., EDWARDS, A.C., GODBOLD, D.L., JONES, D.L., 2003. Low molecular weight organic acid adsorption in forest soils: effects on soil solution concentrations and biodegradation rates. **Soil Biology & Biochemistry** 35, 1015–1026.

WEI, L.; CHEN, C.; XU, Z.; Citric acid enhances the mobilization of organic phosphorus in subtropical and tropical forest soils. **Biology an Fertility of Soils**, Oxford, v. 46, n. 7, p. 765-769, 2010.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de ácido cítrico foi positiva ao crescimento das mudas de café, para as diferentes cultivares testadas no trabalho. As plantas apresentaram um crescimento ótimo na dose padrão de 900 g.m<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e teores nutricionais adequados onde não houve adubação fosfatada, mostrando boas condições de redução da dose ou até mesmo complementação da dose padrão de 900 g.m<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, garantindo uma melhor nutrição da muda nesta fase inicial. O parcelamento da aplicação do ácido cítrico em 3 e 4 vezes mostrou-se eficiente quando comparados a uma única aplicação, o que contribuiu com redução da dose de adubo fosfatado.