



ARTIGO ORIGINAL

## Respostas de genótipos de *Coffea arabica* à aplicação de fósforo em substrato com ácido cítrico

### *Responses of Coffea arabica genotypes to application of phosphorus on substrate treated with citric acid*

Isabel Moreira da Silva<sup>1\*</sup>   
Nykolas Carvalho Schiavon<sup>1</sup>   
André Cabral França<sup>1</sup>   
Miguel Henrique Rosa Franco<sup>2</sup>   
Múcio Magno de Melo Farnezi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Vale Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Campus JK - Rodovia MG 367 – Km 583, Nº 5000, Alto do Jacuba - 39100-000, Diamantina, Minas Gerais, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Dep. Agronomia, Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica-38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

\*Autor correspondente:

E-mail: [ibelmoreira@yahoo.com.br](mailto:ibelmoreira@yahoo.com.br)

#### PALAVRAS-CHAVE

Adubação  
Ácidos orgânicos  
*Coffea arabica*  
Nutrição

#### KEYWORDS

Fertilizing  
Organic acids  
*Coffea arabica*  
Nutrition

**RESUMO:** A adição de ácido cítrico ao substrato pode potencializar a disponibilidade de fósforo para mudas de café. O objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento e acúmulo de nutrientes por mudas de *Coffea arabica*, genótipos Catuai Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 e Oeiras MG 6851 em substrato com ácido cítrico e doses de P. O delineamento experimental adotado foi em DBC, esquema fatorial 3 x 4 (três genótipos submetidos a quatro doses de P: zero, 450, 900 e 1.800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), com cinco repetições. Utilizou-se o superfosfato simples como fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Quando as plântulas apresentaram as primeiras folhas cotiledonares foi realizada aplicação de ácido cítrico anidro na dose de 0,425 mg dm<sup>-3</sup> por plântula. Após 180 dias foram avaliadas as variáveis de crescimento, acúmulo de matéria seca e nutrientes pelas plantas de café. 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. Não foi observada variação entre os genótipos com relação à análise nutricional foliar. O incremento de doses de fósforo em substrato tratado com ácido cítrico aumenta as concentrações de Ca, Mg, Fe e Zn nos tecidos foliares de plantas de café.

**ABSTRACT:** The addition of citric acid to the substrate may potentiate the availability of phosphorus in coffee seedlings. The growth and accumulation of nutrients by *Coffea arabica* seedlings on substrate treated with citric acid with different doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> was to be evaluated. The experimental delineation was arranged in randomized block design (DBC), with five repetitions in 3 x 4 factorial scheme, consisting of three genotypes (Catuai Vermelho IAC 99, Mundo Novo IAC 379-19 and Oeiras MG 6851) submitted to four doses of P: zero, 450, 900 and 1,800 mg dm<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Single superphosphate was used as the source of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The seedlings, when presenting the first cotyledonous leaves, was applied anhydrous citric acid at dose of 0.425 mg dm<sup>-3</sup> per seedling. After 180 days, the variables of growth, accumulation of dry matter and nutrients by coffee plants were evaluated. The doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in substrate treated with citric acid, positively influenced the growth of coffee seedlings. The highest accumulation of biomass and nutrients were mostly in the dose of 900 g m<sup>-3</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No variation was observed among genotypes in relation to foliar nutritional analysis. The increase of phosphorus doses in substrate treated with citric acid increases the concentrations of Ca, Mg, Fe and Zn in the foliar tissues of coffee plants.

Recebido em: 11/09/2017

Aceito em: 27/10/2018

## 1 Introdução

A produção de mudas sadias, nutridas e com bom desenvolvimento radicular é fundamental para o sucesso na cafeicultura (Martins et al., 2015). A fertilização de mudas está diretamente ligada à sustentabilidade, produtividade, tratos fitossanitários, qualidade de bebida e lucratividade da atividade cafeeira (Santinato et al., 2014; Martins et al., 2015).

As altas quantidades de adubação fosfatada necessárias para solos muito intemperizados estão entre os problemas encontrado pelos cafeicultores no plantio (Dias et al., 2015). No entanto, o fosfato é absorvido pelas plantas em quantidades relativamente pequenas, indicando que grande parte da adubação adicionada desse nutriente estaria indisponível para o cafeeiro em crescimento. O fósforo (P), entre outros nutrientes, é essencial à nutrição de mudas de cafeeiro. Sua deficiência compromete o crescimento e acúmulo de biomassa (Carmo et al., 2014). O cafeeiro apresenta ganho de 100% no acúmulo de N e P foliares quando adubado com até 1.308 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, além disso o fornecimento desse nutriente implica maior absorção de N, Ca, Mg, B e Mo (Santinato et al., 2014). Assim, a busca por técnicas que otimizem o aproveitamento da adubação fosfatada deve ser preconizada na produção das mudas.

A presença de ácido cítrico na região da rizosfera provoca o aumento da disponibilidade de P para as plantas em razão da solubilidade dos P-Fe, P-Al e P-Ca (Jones et al., 2003, Palomo et al., 2006). Assim, a adição do ácido orgânico de baixa massa molecular ao substrato pode potencializar a disponibilidade de P (Scervino et al., 2010, Lemos et al., 2015) e contribuir para diminuir a adubação fosfatada no substrato sem reduzir o crescimento das mudas de café (Lemos et al., 2015).

O aumento da solubilidade de P no solo é importante em virtude da baixa eficiência da adubação fosfatada, o que limita a produção das culturas pelo baixo teor natural de P na solução do solo, pela forte fixação do nutriente (adsorção) e por sua precipitação. O ácido cítrico, por possuir grupos carboxílicos, é capaz de dissociar-se diante de diferentes concentrações de prótons H<sup>+</sup> na solução do solo, o que gera complexos solúveis com metais e, conseqüentemente, 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 contribui para diminuição da adubação fosfatada no substrato e maior qualidade das mudas (Lemos et al. 2015).

No entanto, podem existir respostas distintas entre os genótipos de *Coffea arabica* quanto à eficiência no uso, absorção, transporte de macro e micronutrientes e acúmulo de biomassa de acordo com as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Gontijo et al., 2007; Gonçalves et al., 2009). Objetivou-se avaliar o crescimento e concentração de nutrientes em mudas de cafeeiros crescidas em substrato com aplicação de ácido cítrico e diferentes doses de P.

## 2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizadas no Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina-MG, com os genótipos Catuai 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 3 x 4, com três genótipos de cafeeiro e quatro doses de P: zero, 450, 900 e 1.800 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com cinco repetições. Cada muda representa uma unidade experimental. O superfosfato simples foi utilizado com fonte de P.

As doses de P foram misturadas ao substrato 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) (Tabela 1). O solo foi adubado de acordo com recomendações (Guimarães et al., 1999) excetuando-se o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O substrato foi adicionado em sacos de polietileno preto (0,85 dm<sup>3</sup>) com duas sementes em cada, a fim de garantir a emergência.

**Tabela 1.** Atributos físicos e propriedades químicas do latossolo vermelho distrófico.

**Table 1.** Physical attributes and chemical properties of dystrophic red latosol.

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

pH<sub>agua</sub>; 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 Walkley & Black.

pH<sub>water</sub>; P and K: Mehlich-1 extractor; Ca, Mg extractor KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al: Extractor Calcium Acetate 0.5 mol L<sup>-1</sup>; organic matter: Walkley & Black Method.

Ao atingir o estágio palito de fósforo, isto é, antes do lançamento da folha hipocotiledonar, foi realizado desbaste, deixando-se apenas uma planta. Após a emissão do par de folhas cotiledonares, aplicou-se 0,425 mg dm<sup>-3</sup> de ácido cítrico por plântula, equivalendo a 1 kg ha<sup>-1</sup> (Lemos et al., 2015).

Após 180 dias, quando as plantas apresentaram entre quatro e cinco pares de folhas definitivas, foram realizadas as seguintes avaliações de crescimento: número de folhas, diâmetro do coleto, altura das plantas e área foliar pelo método não destrutivo (Antunes et al., 2008). Posteriormente, as plantas foram cortadas rentes à superfície do substrato, divididas em folhas, caules e raízes e lavadas com água destilada. Foi determinada a massa seca de todas as porções (secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C). Efetuou-se o cálculo da área foliar específica (área foliar/massa seca das folhas), a razão massa seca da parte aérea/massa seca de raiz e a densidade radicular, após inserção das raízes em recipiente graduado e verificação do volume de água deslocado. O material foi pesado e triturado em moinho tipo Wiley, passado em peneira de 40 mesh, visando a homogeneização. Em seguida, foram determinadas as concentrações de P pelo método da vitamina C modificado (Braga e de Fellipo, 1974), de S por turbidimetria do sulfato (Jackson, 1958) e de Ca, Mg, Fe, Zn e Mn por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975).

Os dados amostrais foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F (P≤0,05) e as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> à regressão com

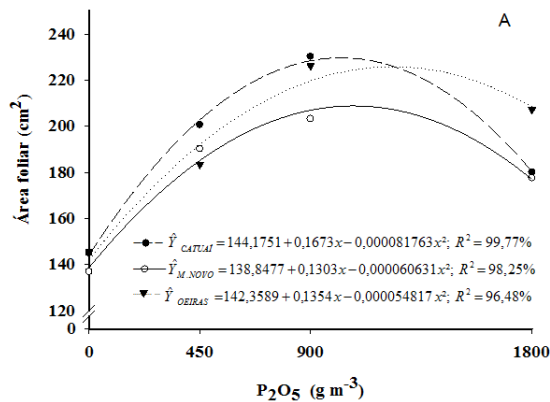
escolha dos modelos baseada em seu nível de significância, no fenômeno biológico e no coeficiente de determinação.

### 3 Resultados e Discussão

A altura das plantas foi influenciada pelas doses de  $P_2O_5$  e pelos genótipos ( $P < 0,01$ ), observando resposta crescente até a dose de  $450 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$ , estabilizando-se a partir dessa dose (Figura 1).

A área foliar foi maior para as doses de 1.235, 1.074 e  $1.023 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  referente a Oeiras, Mundo Novo e Catuaí, respectivamente decrescendo a partir desses valores (Figura 2A). O modelo da área foliar específica foi ajustado de forma quadrática com os maiores valores sendo observados na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  para Catuaí e Oeiras. Mundo Novo respondeu de forma linear e positiva com incremento de  $P_2O_5$  no substrato (Figura 2 B).

As respostas em área foliar, bem como em área foliar específica, são importantes parâmetros fitotécnicos 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 (Schmidt et al., 2014).

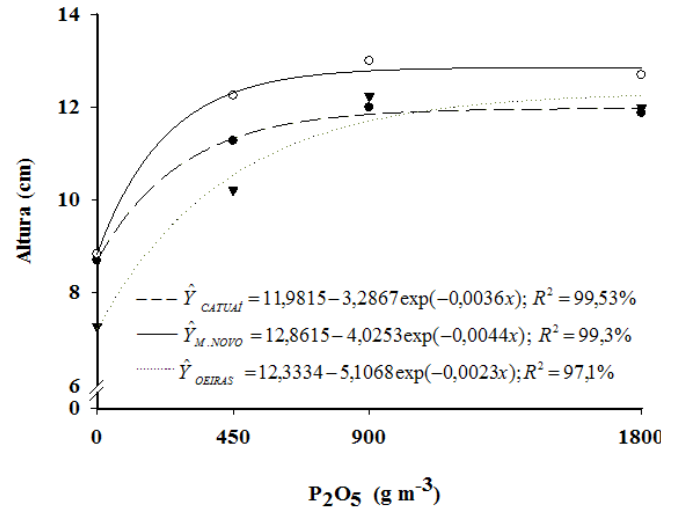


**Figura 2.** Área foliar (a) e área foliar específica (b) de mudas de Catuaí, Mundo Novo e Oeiras crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

**Figure 2.** Leaf area (a) and specific leaf area (b) of seedlings of Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing  $0.5 \text{ g m}^{-3}$  of citric acid, as a function of  $P_2O_5$  doses, at 180 days after sowing.

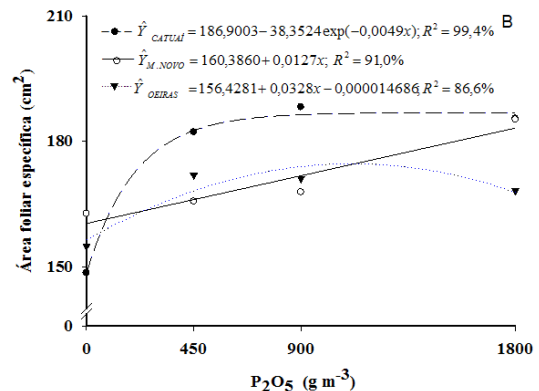
A avaliação do acúmulo de massa pelas plantas observou efeito das doses de  $P_2O_5$  nos três genótipos ( $P < 0,01$ ). Para massa seca de folhas, os cafeeiros se comportaram de forma semelhante (modelos quadráticos com pontos de máxima resposta na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$ ), porém, para as plantas de Oeiras o efeito quadrático de massa foi mais acentuado (Figura 3A). Não houve diferenças entre os genótipos para massa seca de caule e de raízes, observando efeito nas doses de  $P_2O_5$  ( $P < 0,01$ ). Os maiores valores para essa variável foram conseguidos com dose de  $1.000 \text{ g m}^{-3}$  (Figura 3B). Todos os genótipos apresentaram valores máximos na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  para massa seca total (folhas + raízes + caule) (Figura 3C).

As plantas testemunhas que não receberam fósforo apresentaram menores valores de massa seca, área foliar e área foliar específica, sugerindo desenvolvimento irregular tanto da parte aérea como do sistema radicular em substratos com deficiência de fósforo.



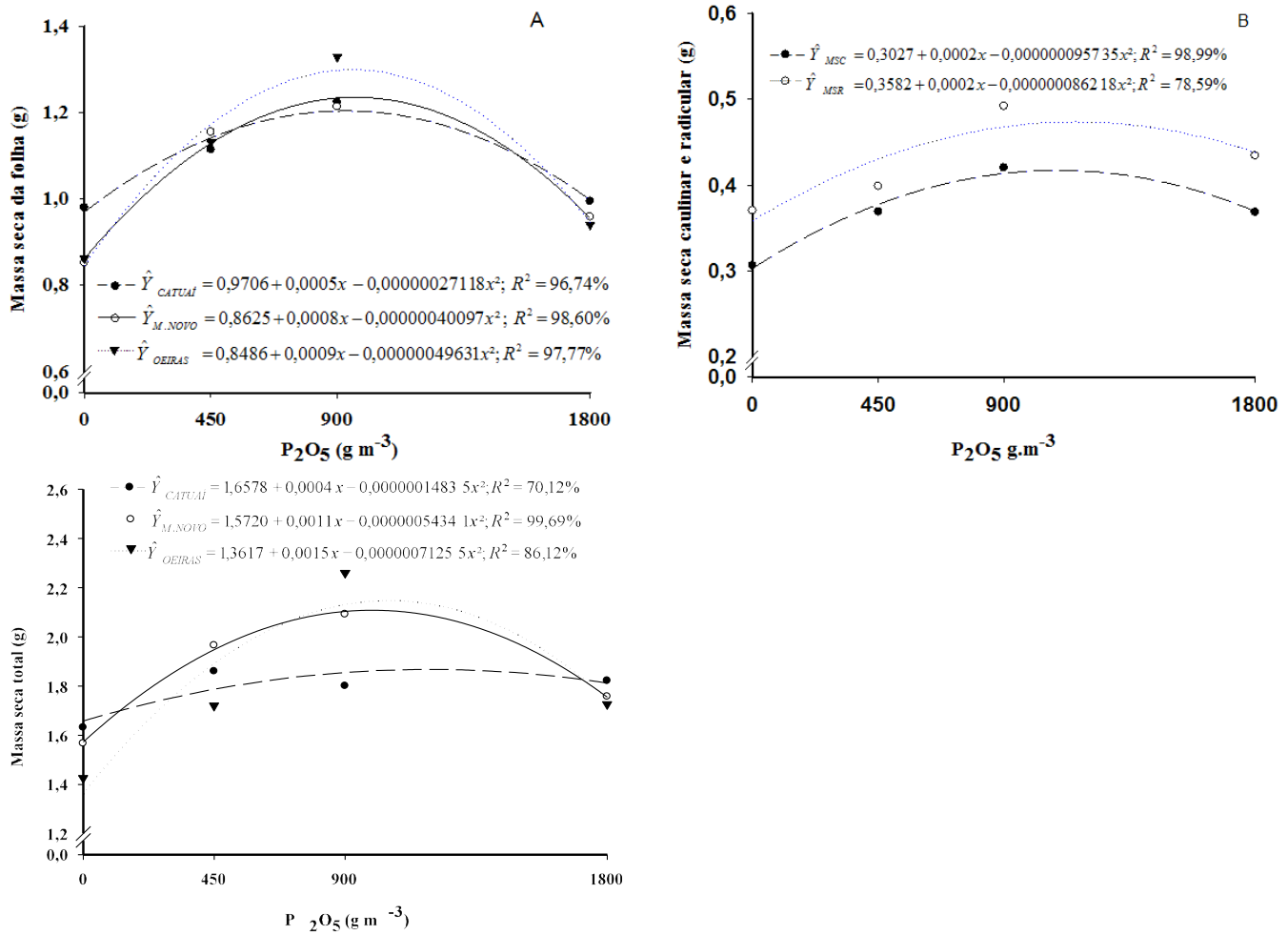
**Figura 1.** Altura de mudas de Catuaí, Mundo Novo e Oeiras crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

**Figure 1.** Height of seedlings of Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing  $0.5 \text{ g m}^{-3}$  of citric acid as a function of  $P_2O_5$  doses, at 180 days after sowing.



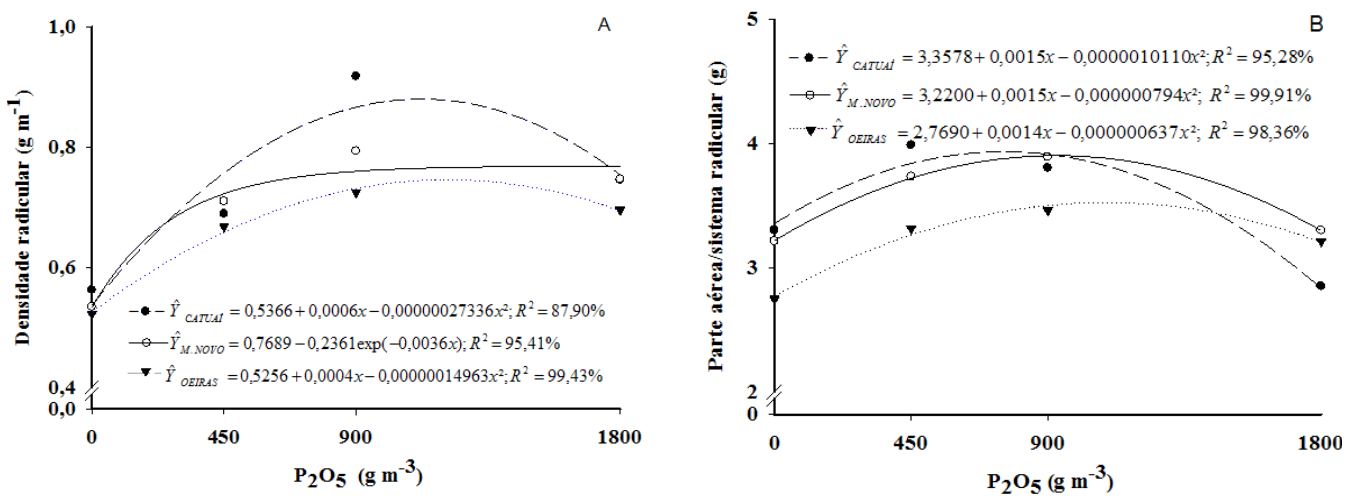
A parte aérea foi influenciada pela dose e genótipo seguindo um modelo quadrático. As doses de P relacionadas aos maiores valores para esse parâmetro foram  $742, 945$  e  $1.099 \text{ g m}^{-3}$  para Catuaí, Mundo Novo e Oeiras, respectivamente (Figura 4B). A relação entre parte aérea e raízes fornece informações acerca do desenvolvimento do sistema radicular. A adição de ácido cítrico atua positivamente no aproveitamento da adubação fosfatada com melhor desenvolvimento da parte aérea/raiz e maior área foliar que em doses abaixo da recomendada para a cultura. Em mudas de cafeeiro, em função das intempéries encontradas no campo e do grande tempo para desenvolvimento, um sistema radicular bem formado está diretamente relacionado ao bom estabelecimento da cultura.

A densidade de raízes foi influenciada pelos genótipos de café e doses de P, sendo os maiores valores estimados de  $1.097$  e  $1.337 \text{ g m}^{-3}$  para Catuaí 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 4A).



**Figura 3.** Massa seca da folha (a), do caule e das raízes (b) e total (c) de mudas de Catuaí, Mundo Novo e Oeiras 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.

**Figure 3.** Dry matter of leaf (a), stem and roots (b) and total (c) of seedlings of Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing 0.5 g m<sup>-3</sup> citric acid as a function of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses, at 180 days after sowing.



**Figura 4.** Densidade radicular (a) e Relação parte aérea/raízes (b) de mudas de Catuaí, Mundo Novo e Oeiras 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.

**Figure 4.** Root density (a) and root ratio (b) of seedlings of Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown on substrate containing 0.5 g m<sup>-3</sup> of citric acid as a function of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses, at 180 days after sowing.



O efeito negativo das maiores doses de  $P_2O_5$  em substrato contendo ácido cítrico foi observado para a maioria das características de crescimento avaliadas, com valores ótimos próximos a  $1.000 \text{ g m}^{-3}$ . Apenas a variedade Mundo Novo teve resposta linear positiva nos valores de área foliar específica com incremento nas doses de P (Figura 2B). Superdoses 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) (Guimarães & Reis, 2010), o que compromete o balanço de nutrientes nas plantas e, conseqüentemente, o crescimento (Santinato et al., 2014).

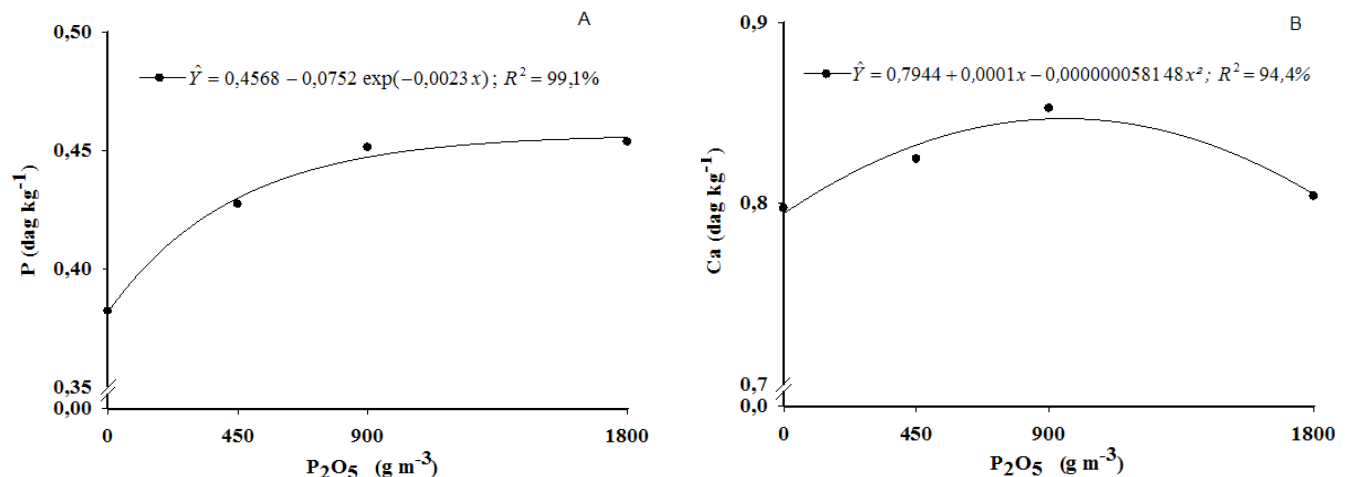
A adubação com  $P_2O_5$  normalmente recomendada – equivalente a  $900 \text{ g m}^{-3}$  de substrato (Guimarães et al., 1999) – pode ser reduzida quando o substrato conter ácido cítrico, principalmente para Catuaí e Mundo Novo. Em relação ao genótipo Catuaí, o índice de área foliar específico, bem como a relação entre parte aérea e raízes já se mostravam próximos aos seus maiores valores em dose de  $P_2O_5$  menor que  $900 \text{ g m}^{-3}$ .

Não foi observada variação dos teores de nutrientes na folha em função dos genótipos Catuaí, Mundo Novo e Oeiras.

A concentração de N não foi influenciada pelas doses de  $P_2O_5$  ( $P > 0,05$ ). Mesmo na ausência da adição de  $P_2O_5$  observou-se concentração de N próxima a  $36,0 \text{ g kg}^{-1}$ , sugerindo efeito

positivo da presença de ácido cítrico no substrato. Doses crescentes de ácido cítrico influenciaram significativamente os teores de Ca e N nas folhas do cafeeiro Catuaí Vermelho IAC 99 (Lemos et al., 2015). Os níveis críticos para esse nutriente em folha de mudas de café arábica variam de  $22,6$  a  $27,8 \text{ g kg}^{-1}$  (Gonçalves, 2009).

Com relação ao teor de P nas folhas, houve resposta exponencial positiva em quantidades de até  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  no substrato, seguida de posterior estabilização da curva (Figura 5A). Destaca-se que o teor de P em folhas de plantas crescidas em substrato no qual não foi realizada a adubação com  $P_2O_5$  foi equivalente a  $3,8 \text{ g kg}^{-1}$ . 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 capacidade de exsudação de ácido cítrico pelo cafeeiro em condições de baixa disponibilidade de fósforo. Isso ocorre devido aos grupos carboxílicos presentes no ácido cítrico, que se dissociam liberando prótons e promovendo, por hidrólise, desintegração ou intemperismo dos minerais do solo (Lemos et al., 2015). Os valores críticos para esse elemento estão entre  $0,15$  e  $0,33 \text{ g kg}^{-1}$  (Pinto, 2012), ilustrando a contribuição do ácido cítrico para disponibilização e conseqüente absorção de P pelas mudas de café.



**Figura 5.** Teor de P (a) e Ca (b) nas folhas de mudas de café Catuaí, Mundo Novo e Oeiras crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

**Figure 5.** P (a) and Ca (b) in coffee leaves Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing  $0.5 \text{ g m}^{-3}$  of citric acid, as a function of  $P_2O_5$  doses, at 180 days after sowing.

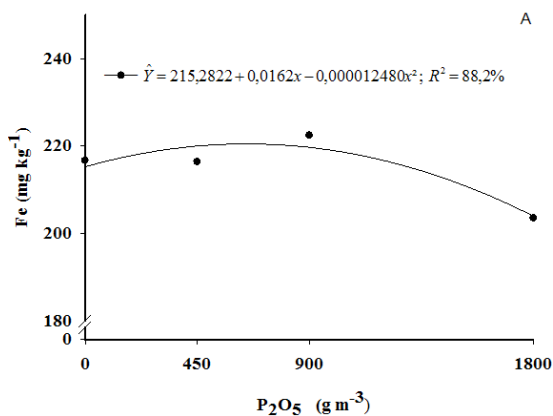
Após 180 dias de crescimento em substrato contendo  $0,425 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico e  $859,87 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$ , as mudas de café apresentaram o valor máximo de concentração de Ca ( $8,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Figura 5B). O aporte desse elemento nas folhas ocorreu, possivelmente, em função do superfosfato simples conter 18% de Ca. 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 como observados para mudas de café tratadas com doses crescentes de ácido cítrico (Lemos et al., 2015). Plantas crescidas em substrato sem a adição de  $P_2O_5$  apresentaram  $7,9 \text{ g kg}^{-1}$  de Ca, valor próximo ao limite da faixa crítica (Gontijo et al., 2007).

Com relação ao teor de Mg e S nas folhas, doses acima de  $450 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  reduziram a concentração do primeiro elemento, por outro lado, a concentração de S foi influenciada positivamente com o aumento das doses de P (Figura 6). Esse pequeno incremento pode ser explicado pela fonte de fósforo utilizada, o superfosfato simples, que contém enxofre em sua formulação. Doses altas de P também podem afetar o acúmulo de S nas plantas caso o nível do mesmo no solo esteja abaixo do adequado (Guimarães & Reis 2010). Destaca-se que as faixas críticas de Mg e S em folhas de mudas de café são respectivamente  $1,1$  a  $1,2$  e  $1,5$  a  $2,4 \text{ g kg}^{-1}$  (Gonçalves et al., 2009).

Os teores de K e Cu não foram afetados pelas doses de  $P_2O_5$  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.

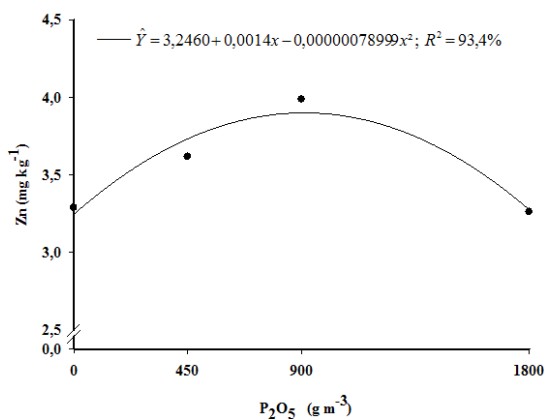
Os teores de Fe, Mn e Zn tiveram seus valores afetados pelas doses de  $P_2O_5$  ( $P<0,01$ ). Para a concentração de Fe, houve teor máximo em concentração de  $P_2O_5$  equivalente a  $642,03 \text{ g m}^{-3}$ , na qual as folhas apresentaram  $22 \text{ mg kg}^{-1}$  do micronutriente (Figura 7A). Já para Mn, o teor máximo nas folhas foi atingido foi de  $36,7 \text{ mg kg}^{-1}$ , obtido com a maior dose de  $P_2O_5$  (Figura 7B). Esses valores são considerados similares àqueles determinados por Gontijo et al. (2007) como faixa crítica, mesmo nos que houve apenas a adição do ácido cítrico e a não adubação com  $P_2O_5$  (Figura 7B).

O teor de Zn teve seu maior valor na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$  (Figura 8). Acima dessa dose de P no substrato do adubo fosfatado há diminuição do aporte de Zn, induzida justamente pelo P como 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).



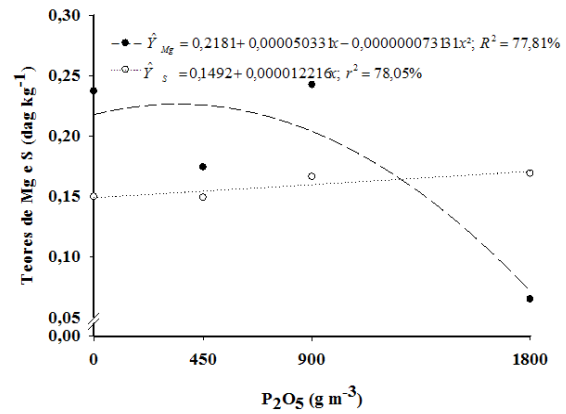
**Figura 7.** Teor de Fe (a) e de Mn (b) nas folhas de mudas de café Catuaí, Mundo Novo e Oeiras crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

**Figure 7.** Fe (a) and Mn (b) content of coffee seedlings Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing  $0.5 \text{ g m}^{-3}$  of citric acid as a function of  $P_2O_5$  doses, at 180 days after seeding.



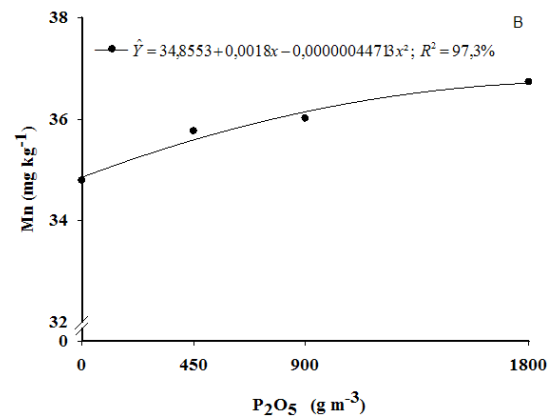
**Figura 8.** Teor de Zn nas folhas de mudas de café, Catuaí Mundo Novo e Oeiras crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

**Figure 8.** Zn content of coffee seedlings Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing  $0.5 \text{ g m}^{-3}$  of citric acid, as a function of  $P_2O_5$  doses, at 180 days after sowing.



**Figura 6.** Teor de Mg e S nas folhas de mudas de café Catuaí, Mundo Novo e Oeiras crescidas em substrato contendo  $0,5 \text{ g m}^{-3}$  de ácido cítrico, em função de doses de  $P_2O_5$ , aos 180 dias após semeadura.

**Figure 6.** Mg and S content of coffee seedlings Catuaí, Mundo Novo and Oeiras grown in substrate containing  $0.5 \text{ g m}^{-3}$  of citric acid as a function of  $P_2O_5$  doses, at 180 days after sowing.



Os teores de Zn variaram entre  $3,28$  e  $3,98 \text{ mg kg}^{-1}$ , valores próximos àqueles estabelecidos por Gontijo et al. (2007). Naqueles que 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 (Jones et al., 2003, D'Souza et al., 2010).

## 4 Conclusões

O incremento de doses de fósforo em substrato tratado com ácido cítrico gera incrementos nos parâmetros fitotécnicos dos genótipos de café Catuaí, Mundo Novo e Oeiras. O maior crescimento, acúmulo de biomassa e acúmulo máximo de nutrientes foram observados, em sua maioria, na dose de  $900 \text{ g m}^{-3}$  de  $P_2O_5$ . O incremento de doses de fósforo em substrato tratado com ácido cítrico aumenta as concentrações de Ca, Mg, Fe e Zn nos tecidos foliares de plantas de café.

## Referências

- ANTUNES, W. C.; POMPELLI, M. F.; CARRETERO, D. M.; DAMATTA, F. M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of Applied Biology*, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008. doi: 10.1111/j.1744-7348.2008.00235.x
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official methods of analysis. 12. ed. Washington, DC, 1975. 1094 p.
- BRAGA, J. M.; FELLIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.
- CARMO, D. L.; TAKAHASHI, H. Y. U.; SILVA, C. A.; GONTÍJO, P. T. 2014. 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. doi: 10.25186/cs.v9i2.616
- DIAS, K. G. D. L.; NETO, A. E. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P.; OLIVEIRA, C. H. C. D. Coffee yield and phosphate nutrition provided to plants by various phosphorus sources and levels. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 39, n. 2, p. 110-120, 2015. doi: 10.1590/S1413-70542015000200002
- D'SOUZA, M. V.; SHANMUKHAPPA, D. R.; SHANKAR, B. N. Effect of organic acids on the uptake of zinc, aluminium and manganese by coffee. *Indian Coffee*, Bangalore, v. 74, n. 7, p. 9-12, 2010. https://doi.org/10.1002/jpln.19590850311
- GONÇALVES, S. M.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. D.; BOTREL, E. P. 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, 2009. doi: 10.1590/S1413-70542009000300012
- GONTIJO, R. A. N.; DE CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; DE BASTOS ANDRADE, W. E. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, v. 2, n. 2, p. 135-141, 2007. doi: 10.25186/cs.v10i3.791
- GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ VENEGAS V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS V. H. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Eds.). *Cafê Árábica: do plantio à colheita*. Lavras, Epamig, 2010. p. 343-414.
- JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. 458 p.
- JONES, D. L.; DENNIS, P. G.; OWEN, A. G.; VAN HEES, P. A. W. Organic acid behavior in soils – misconceptions and knowledge gaps. *Plant and soil*, Dordrecht, v. 248, n. 1-2, p. 31-41, 2003. doi: 10.1023/A:1022304332313
- LEMO, V. T.; FRANÇA, A. C.; DE BARROS SILVA, E.; DA SILVA MARINHO, R. L.; FRANCO, M. H. R.; DE AVELLAR, M.; CARVALHO, G. R. Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 3, p. 298-308, 2015. doi: 10.25186/cs.v10i3.858
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.
- MARTINS, L. D.; MACHADO, L. D. S.; TOMAZ, M. A.; DO AMARAL, J. F. T. The nutritional efficiency of *Coffea* spp. A review. *African Journal of Biotechnology*, Lagos, v. 14, n. 9, p. 728-734, 2015. doi: 10.5897/AJB2014.14254
- SANTINATO, F.; CAIONE, G.; TAVARES, T. O.; PRADO, R. D. M. Doses of phosphorus associated with nitrogen on development of coffee seedlings. *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 3, p. 419-426, 2014. doi: 10.25186/cs.v9i3.689
- SCERVINO, J. M.; MESA, M. P.; DELLA MÓNICA, I.; RECCHI, M.; MORENO, N. S.; GODEAS, A. Soil fungal isolates produce different organic acid patterns involved in phosphate salts solubilization. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 46, n. 7, p. 755-763, 2010. doi: 10.1007/s00374-013-0811-9
- SCHMILDT, E. R.; AMARAL, J. A. T. D.; SCHMILDT, O.; SANTOS, J. S. Análise comparativa de equações para estimativa da área foliar em cafeeiros. *Coffee Science*, Lavras, v. 9, n. 2, p. 155-167, 2014. doi: 10.25186/cs.v9i2.573
- PALOMO, L.; CLAASSEN, N.; JONES, D. L. Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. *Soil Biology & Biochemistry*, Amsterdam, v. 38, n. 4, p. 683-692, 2006. doi: 10.1016/j.soilbio.2005.06.019
- 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. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- WEI, L.; CHEN, C.; XU, Z. Citric acid enhances the mobilization of organic phosphorus in subtropical and tropical forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 46, n. 7, p. 765-769, 2010. doi: 10.1007/s00374-010-0464-x

**Contribuição dos autores:** Nycolas Carvalho Schiavon realizou os experimentos e a escrita científica; Isabel Moreira da Silva e Miguel Henrique Rosa Franco contribuíram com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Múcio Magno de Melo Farnezi contribuiu com a análise estatística e a construção dos gráficos; André Cabral França contribuiu com a orientação do experimento e revisão ortográfica e gramatical do trabalho.

**Agradecimentos:** Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

**Fontes de financiamento:** Não houve fonte de financiamento.

**Conflito de Interesse:** os autores declaram não haver conflito de interesse.