

Ácido cítrico e fósforo no crescimento e acúmulo de nutrientes no cafeeiro

¹ Isabel Moreira da Silva, ¹ Nykolas Carvalho Schiavon, ¹ André Cabral França, ² Vinícius Teixeira Lemos, ¹ Múcio Magno de Melo Farnezi, ¹ Bárbara Maria da Cruz Bênto

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Rodovia MGT 367, Km 583, n 5.000, Alto da Jacuba, CEP 39100-000, Diamantina, MG, Brasil. E-mails: ibelmoreira@yahoo.com.br, nykolas_schiavon@hotmail.com, cabralfranca@yahoo.com.br, muciomagno@yahoo.com.br, bmcbento@gmail.com

² Centro Universitário Una de Bom Despacho, Rodovia BR-262, Km 480, s/n, Zona Rural, CEP 35600-000, Bom Despacho, MG, Brasil. E-mails: lemosvt@yahoo.com.br

Resumo: A utilização do ácido cítrico pode aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatado e garantir o adequado desenvolvimento de mudas de cafeeiro. Objetivo foi avaliar a relação entre o parcelamento do ácido cítrico e dosagens de fósforo no crescimento das mudas de café. O experimento foi montado em delineamento de blocos, em esquema fatorial 4x4 composto por doses de P_2O_5 (0, 450, 900 e 1.800 $mg\ dm^{-3}$) e o parcelamento de ácido cítrico em 1, 2, 3 e 4 divisões da dosagem de 0,5 $mg\ dm^{-3}$. Dois tratamentos adicionais foram acrescentados, o primeiro sem aplicação de ácido cítrico e do adubo fosfatado e o outro com 900 $mg\ dm^{-3}$ de P_2O_5 e sem adição do ácido. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% e entre os tratamentos adicionais o teste F. Após crescimento por 180 dias, as plantas foram avaliadas quanto ao crescimento, acúmulo de massa e o teor de P e Zn nas folhas e no substrato. A aplicação de ácido cítrico ao substrato favorece o crescimento das mudas de café. O parcelamento da aplicação do ácido cítrico em 2 e 3 vezes proporciona maior massa seca do sistema radicular e foliar em relação a uma única aplicação.

Palavras chave: Ácidos orgânicos, Qualidade de mudas, *Coffea arábica*

Citric acid and phosphorus in the growth and accumulation of nutrients in coffee

Abstract: The use of citric acid can increase the efficiency of phosphate fertilizers and ensure the proper development of coffee seedlings. Objective was to evaluate the relationship between citric acid splitting and phosphorus dosages in the growth of coffee seedlings. The experiment was carried out in a block design, in a 4x4 factorial scheme composed of doses of P_2O_5 (0, 450, 900 and 1,800 $mg\ dm^{-3}$) and the citric acid split in 1, 2, 3 and 4 dosage divisions of 0, 5 $mg\ dm^{-3}$. Two additional treatments were added, the first without application of citric acid and phosphate fertilizer and the other with 900 $mg\ dm^{-3}$ of P_2O_5 and without adding the acid. The data were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test at 5% and among the additional treatments the F test. After growth for 180 days, the plants were evaluated for growth, mass accumulation and the content of P and Zn in leaves and in the substrate. The application of citric acid to the substrate favored the growth of the coffee plants. The splitting of the application of citric acid in 2 and 3 times provides a higher dry mass of the root system and leaf in relation to a single application.

Keywords: Organic acids, Seedling quality, *Coffea Arabica*.

Introdução

A produção de mudas de cafeeiro com qualidade é fundamental para formar uma lavoura produtiva. A disponibilidade de fósforo, um dos nutrientes mais exigidos na formação de mudas de café, pode ser limitada à planta em função de sua afinidade com a fase mineral do solo devido a ligações covalentes ou formação de precipitado com Fe, Al e Ca (Neto et al., 2016). Assim, o fósforo no solo, pode estar com altos teores, mas uma pequena quantidade está disponível para as plantas, quando isso acontece pode ocorrer a limitação do desenvolvimento de raízes (Silva et al., 2009). Uma das características mais importantes nas mudas de café é o sistema radicular, nesse sentido, o fósforo é muito limitante ao seu desenvolvimento, de tal forma, que o nível crítico do elemento para desenvolvimento das raízes é maior que para a parte aérea (Reis & Cunha, 2010).

Estratégias que visem aumentar a eficiência de utilização do fósforo pela planta são estudadas, entre elas o uso de ácidos orgânicos (Wei et al., 2010 & Lemos et al., 2015). A presença de ácidos orgânicos na região da rizosfera das plantas tem relação direta com a maior solubilização e disponibilização de fósforo para absorção (Reza et al., 2017). Os ácidos orgânicos agem solubilizando o fósforo precipitado com Al ou Fe na solução do solo e 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 estudos relacionados ao melhor aproveitamento de fósforo por plantas (Reza et al., 2017). A adição de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de ácido cítrico ao substrato contribui para a maior absorção de fósforo por mudas de café e, aumenta o teor de diversos elementos nas plantas, bem como incrementa o acúmulo de matéria seca (Lemos et al., 2015).

A ação do ácido cítrico no solo é dinâmica e influenciada por diversos fatores edáficos, de tal forma, que o teor de ácidos, produzido naturalmente pelas plantas, são rapidamente degradados no solo pelos microrganismos,

apresentando uma semi-vida de poucas horas no solo (Ryan et al., 2003). Assim, a adição artificial do ácido cítrico pode ser benéfica pelo aumento da disponibilização de fósforo reduzindo as doses dos fertilizantes fosfatado em solos tropicais e contribuindo para produção mais sustentável (Van Hees et al., 2003).

Objetivo foi avaliar a relação entre o parcelamento do ácido cítrico e dosagens de fósforo no crescimento das mudas de café.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri [UFVJM], em Diamantina/MG, situada a $18^{\circ}10'$ de latitude sul e $43^{\circ}30'$ de longitude Oeste e altitude 1.387 m.

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento de blocos com 4 repetições, em esquema fatorial 4×4 , composto por doses de P_2O_5 (0, 450, 900 e 1.800 mg dm^{-3}) na forma de superfosfato simples e o parcelamento de $0,5 \text{ g m}^{-3}$ de ácido cítrico (AC) em quatro formas: uma aplicação; duas aplicações, cada uma, equivalentes a 50% da dose em intervalo de 30 dias, três e quatro subdivisões da dose, mantendo-se o mesmo intervalo de 30 dias. Dois tratamentos adicionais, controles, foram incluídos, um sem aplicação de P_2O_5 e o outro com 900 mg dm^{-3} de P_2O_5 , e ambos sem adição do AC.

Sacos plásticos ($0,85 \text{ dm}^3$), utilizadas para produção de mudas, foram preenchidos com substrato composto por 300 L de esterco de curral curtido; 0,5 kg de cloreto de potássio e 700 L de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd). O solo (Tabela 1) foi adubado de acordo com as recomendações para cultura (Reis & Cunha, 2010), excetuando-se P_2O_5 , fator em estudo que foi de acordo com cada tratamento. Duas sementes de café, cultivar Catuaí Vermelho IAC 52, foram semeadas por recipiente. Ao atingir o estágio palito de fósforo foi realizado um desbaste deixando-se apenas uma planta e após a emissão das primeiras folhas cotiledonares foi realizado a adição do segundo fator em estudo, o parcelamento de ácido cítrico, em 1, 2, 3 e 4 divisões da dosagem de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$.

Tabela 1 - Atributos físicos e propriedades químicas do Latossolo Vermelho distrófico

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

¹/pH água: Relação solo-água 1:2,5. P, K, Zn, Cu, Fe e Mn: Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 molL⁻¹, B: Água quente. T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m: Saturação de alumínio. V: Saturação por bases. MO – Teor de matéria orgânica determinado pelo método da oxidação do carbono por dicromato de potássio, em meio ácido multiplicado por 1,724.

As plantas ao apresentarem entre quatro e cinco pares de folhas definitivas, aos 180 dias, foram avaliadas a altura (distância do colo até gema terminal do ramo ortotrópico) e a área foliar (cm²) pelo método não destrutivo (Antunes et al., 2008). Em seguida, as plantas foram cortadas rente ao solo, divididas em folhas, caules e raízes, lavadas com água destilada e determinada a massa de matéria seca das mesmas (secadas em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C). Após pesadas, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e submetidas à digestão nitroperclórica, em seguida, feitas as leituras dos teores nas folhas de P pelo método da vitamina C modificado (Braga & Defellipo, 1974) e Zn por espectrofotometria de absorção atômica segundo a Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (1975). Amostras do substrato foram realizadas ao final do ensaio para a determinação analítica do Zn (extrator DTPA) e os teores de P pelo extrator Mehlich1 (Raj et al., 2001).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011) A comparação entre as médias dos tratamentos e dos tratamentos adicionais foram pelo teste F.

Resultados e discussão

Não foi observada interação entre as doses de fósforo e o parcelamento do AC, entretanto, houve efeito simples do parcelamento do AC e

das doses de fósforo no crescimento e acúmulo de massa nas mudas de café. Já o acúmulo de P nas folhas e o teor de Zn no substrato observou-se diferenças com o parcelamento do AC e os teores de P no substrato apenas pela dose fosfatada.

A altura das mudas de café não foi influenciada pela dose de P₂O₅ e pelo parcelamento do AC (Tabela 2). Porém, observa-se diferenças nas alturas das mudas em relação aos tratamentos adicionais, com valores superiores naquelas que se desenvolveram em substrato com adição do ácido (Tabela 2). Assim, a presença de AC auxiliou no crescimento das mudas, principalmente, no tratamento sem adição de P₂O₅. A altura das mudas foi 35,6% superior quando se aplicou o AC (14,55 cm) em relação àquelas sem adição do ácido (10,73 cm) nos tratamentos sem adubação fosfatada. E 18% superior com aplicação do ácido ao substrato (14,75 cm) em relação àquelas com substrato sem a adição de AC (12,40 cm), mas com a mesma concentração de 900 mg dm⁻³ de P₂O₅ (Tabela 2). O ácido cítrico, independente do parcelamento, provavelmente proporcionou maior absorção de fósforo pelas raízes contribuindo para o crescimento em altura das mudas. Isso pode ocorrer devido a capacidade do AC em reduzir a adsorção/precipitação de fosfato, favorecendo sua absorção e o crescimento da planta (Reza et al., 2017). O fósforo é o principal elemento responsável pelo vigor e desenvolvimento inicial do sistema radicular e da parte aérea do cafeeiro (Pozza et al., 2007 & Gonçalves et al., 2009).

Tabela 2 - Variáveis fitotécnicas 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 a partir do estágio “orelha de onça”

Parcelamentos de ácido cítrico	P_2O_5 (mg dm^{-3})				Médias ¹
	0	450	900	1.800	
Altura de plantas (cm)					
1	12,68 ¹	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
Médias¹	14,55 a	15,83 a	14,75 a	13,36 a	
T. Adicional ²	10,73**		12,40**		
CV (%)	----- 18,99 -----				
Área foliar (cm^2)					
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
Médias¹	527,21 ab	567,36 b	521,21 ab	472,90 a	
T. Adicional ²	298,70**		441,62**		
CV (%)	----- 16,55 -----				

¹Médias 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. ²Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais [(Sem aplicação de ácido cítrico e P_2O_5 ; Aplicação P_2O_5 (900 mg dm^{-3}) e $0,5 \text{ g m}^{-3}$ de ácido cítrico respectivamente)].

A área foliar também foi maior naqueles tratamentos com adição do ácido cítrico. Mudas não adubadas com P_2O_5 , e que não receberam o AC, produziram $298,7 \text{ cm}^2$ em área foliar, ao passo que a adição de 900 mg dm^{-3} de adubação fosfatada a área foliar foi de $441,62 \text{ cm}^2$. Por outro lado, quando adicionou AC ao substrato, a área foliar foi similar quando não adubadas com P_2O_5 ($527, 21 \text{ cm}^2$) ou adubadas com a dose recomenda para cultura de 900 mg dm^{-3} ($521, 21 \text{ cm}^2$). Destaca-se que, onde não houve adubação com fósforo, mas adição de AC, a área foliar das plantas foi 76,51% ($527,21 \text{ cm}^2$) maior em relação ao tratamento adicional sem adubação e sem AC ($298,70 \text{ cm}^2$) (Tabela 2). A variável área foliar é importância no desenvolvimento de mudas, pois considera a relação entre alocação de nutrientes e fotoassimilados e o crescimento das plantas (Favarin et al., 2002). Sugerindo que os processos fotossintéticos ocorreram de forma adequada propiciando á muda investir em expansão foliar para captação da radiação solar (Silva et al., 2010), e que o AC mostrou-se eficaz no aumento da disponibilidade de nutrientes para ao cafeeiro como observado para cultivar Acaíá

(Nogueira et al., 2002). A menor área foliar no tratamento sem adição de P_2O_5 e de AC pode estar relacionado a baixa absorção de fósforo pela planta devido sua adsorção nos coloides do solo, reduzindo sua difusão até as raízes (Martins et al., 2013). O P é importante na síntese de nucleoproteínas necessárias à divisão celular, atua em processos de absorção iônica e influência no desenvolvimento do sistema radicular (Malavolta, 2006). Assim, 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 e quatro parcelamentos (Tabela 2). Da mesma forma, dentro da dose de P_2O_5 , porém independente do parcelamento, aquela igual a 450 mg dm^{-3} produziu plantas com maior área foliar em relação ao substrato onde foi adicionado 1.800 mg dm^{-3} . A ação dos ácidos orgânicos no solo é muito dinâmica, muitas vezes sendo degradados em poucas horas (Palomo et al., 2006), e fatores como o teor de água, pH, disponibilidade de cátions e atividade microbiana

têm influência direta na atividade, porém aplicação em substratos com doses de fósforo acima do recomendado pode ter efeito reverso (Sena et al., 2004 & Martins et al., 2013).

A massa seca das folhas de café foi influenciada pela dosagem de P_2O_5 e pelo parcelamento do ácido cítrico. 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. Onde não houve adição de P_2O_5 , a massa das folhas foi 76%

superior em mudas sob a aplicação do AC (2,90 g) em relação as que não receberam (1,65 g), sendo que na dose equivalente a 900 mg.dm^{-3} de P_2O_5 esse valor foi de 35% (Tabela 3). Assim, sugere que a adição do AC ao substrato contribui para maior área foliar e proporciona maior produção de matéria seca em resposta à captação da radiação solar incidente pelas folhas, sendo esse processo reflexo direto da produção fotossintética líquida e da disponibilidade de nutrientes.

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 (mg dm^{-3})				Médias ¹
	0	450	900	1.800	
Massa seca da folha (g)					
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
Médias¹	2,90 ab	3,24 b	3,03 ab	2,65 a	
T. Adicional ²	1,65**		2,24**		
CV (%)	----- 20,95 -----				
Massa seca de raízes (g)					
1	0,80	1,03	0,84	1,27	0,98 A
2	1,44	1,49	1,31	1,22	1,36 B
3	1,48	1,17	1,65	1,56	1,46 B
4	0,75	1,78	1,42	1,38	1,33 B
Médias¹	1,11 a	1,37 b	1,30 ab	1,36 ab	
T. Adicional ²	0,52**		0,76**		
CV (%)	----- 20,45 -----				
Massa seca total (g)					
1	3,86	4,96	4,18	4,56	4,39 A
2	4,36	5,83	4,76	4,81	4,94 AB
3	6,51	4,38	5,60	5,53	5,51 B
4	4,04	6,25	4,89	3,95	4,78 AB
Médias¹	4,69 a	5,35 a	4,86 a	4,71 a	
T. Adicional ²	2,63**		2,55**		
CV (%)	----- 17,09 -----				

¹Médias 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. ²Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais [(Sem aplicação de ácido cítrico e P_2O_5 ; Aplicação P_2O_5 (900 mg dm^{-3}) e $0,5 \text{ g m}^{-3}$ de ácido cítrico respectivamente].

Os valores de massa seca das raízes foram influenciados pelo parcelamento do ácido

cítrico e as doses de fósforo. As médias foram maiores onde houve a aplicação de AC e quando

parcelado. O efeito positivo da adição do AC ao substrato foi maior no tratamento sem adubação fosfatada (Tabela 3). Ao comparar os tratamentos adubados com 900 mg dm^{-3} com e sem adição de AC (controle adicional), observa-se uma maior massa seca das raízes quando o ácido foi adicionado ao substrato de 74% (Tabela 3). Em mudas recém-plantadas, o fósforo é importante por aumentar significativamente o sistema radicular (Malavolta, 2006). A massa radicular é um fator limitante, principalmente, para aqueles nutrientes absorvidos por difusão e interceptação radicular como o fósforo e potássio (Grant et al., 2001). Assim, o incremento da área superficial da massa radicular aumenta a habilidade da planta em acessar e absorver nutrientes presentes nos solos.

A massa seca total das mudas de café também foi beneficiada diante da aplicação de AC em três parcelamentos do que uma única aplicação. Em substrato sem o adubo fosfatado o

ganho em massa seca foi equivalente a 78% com adição do ácido cítrico, ao passo que aquele adubado com 900 mg dm^{-3} de P_2O_5 foi de 91% (Tabela 3). O efeito do fósforo no aumento da produção de matéria seca em mudas de café também foi observado para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 (Santinato et al., 2014).

As mudas de café apresentaram diferentes teores de fósforo quando tratadas com o ácido cítrico em função do parcelamento. O acúmulo do nutriente foi 41% menor quando aplicado em dose única de ácido cítrico em relação ao parcelamento em três vezes. O teor médio de fósforo pelas plantas foi de $0,26 \text{ dag dm}^{-3}$ não influenciado pela dose de P_2O_5 adicionada (Tabela 4), sendo que os valores críticos desse nutriente nos tecidos foliares de mudas de café estão entre $0,22$ e $0,25 \text{ dag.kg}^{-1}$ (Goncalves et al., 2009). Assim observa-se resultado positivo do ácido cítrico na nutrição fosforada das mudas de café.

Tabela 4 - Acúmulo de P e Zn 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 (mg dm^{-3})				Médias ¹
	0	450	900	1.800	
	Fósforo (dag kg)				
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
Médias¹	0,22 a	0,27 a	0,28 a	0,26 a	
T. Adicional ²	0,27 ^{ns}		0,23 ^{ns}		
CV (%)	----- 25,95 -----				
	Zinco (mg kg^{-1})				
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
Médias¹	9,49 a	9,38 a	10,32 a	8,33 a	
T. Adicional ²	13,68**		14,46**		
CV (%)	----- 28,55 -----				

¹Médias 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. ²**Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais [(Sem aplicação de ácido cítrico e P_2O_5 ; Aplicação P_2O_5 (900 mg dm^{-3}) e $0,5 \text{ g m}^{-3}$ de ácido cítrico respectivamente]. ^{ns}Não significativo.

A absorção de Zn por plantas de café é inversamente relacionada à absorção de P em condições normais pela inibição não competitiva (Malavolta, 2006). Nesse sentido, os menores teores de Zn em plantas crescidas em substrato com ácido cítrico do que na ausência (13,68 e 14,46 mg kg⁻¹) podem estar relacionada ao teor de fósforo liberado na solução com adição do ácido, ocorrendo efeito antagônico ao zinco e a menor absorção pelas plantas (Lemos et al., 2015). Por outro lado, a maior absorção de Zn, conseguida pela adição de P₂O₅, 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 (Gontijo et al., 2007).

O teor de fósforo no solo apresentou efeito significativo após aplicação do ácido cítrico,

independente do parcelamento. Na ausência da aplicação do AC a concentração de P₂O₅ foi equivalente a 10,99 mg dm⁻³, porém, com a adição do ácido, esse valor foi de 10,36 mg dm⁻³, onde não foi realizada adição de P₂O₅. Em solo sem a adição de ácido cítrico, o acúmulo de P₂O₅ foi maior no tratamento com substrato contendo 900 mg dm⁻³ de P₂O₅ em relação ao sem o adubo (Tabela 5). Tais fatos podem ser explicados em virtude da maior mineralização da matéria orgânica e pelo efeito de solubilização do fosfato nos tratamentos que receberam P₂O₅, sendo que em resultados de nutrição foliar fica evidente a contribuição dos tratamentos para o melhor acúmulo de nutrientes, principalmente com relação aos níveis críticos desse elemento (Gontijo et al., 2007 & Goncalves et al., 2009).

Tabela 5- Teores de fósforo e zinco em substrato com plantas de café (Catuaí Vermelho IAC 52) e tratado com P₂O₅ e ácido cítrico (0,5 g m⁻³) em parcelamento a cada 30 em a partir do estágio “orelha de onça”

Parcelamento e ácido cítrico	P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)				Médias ¹
	0	450	900	1.800	
	Fósforo (mg dm ⁻³)				
1	10,83	31,49	48,29	103,95	48,64a
2	9,06	23,93	42,40	119,25	48,66a
3	11,33	22,38	44,31	93,75	42,94a
4	10,21	29,42	48,16	99,09	46,72a
Médias¹	10,36a	26,80b	45,79c	104,01d	
T. Adicional ²	10,99**		40,93**		
CV (%)	----- 15,00 -----				
	Zinco (mg kg ⁻¹)				
1	0,67	0,67	0,67	0,61	0,66a
2	0,63	0,68	0,63	0,82	0,69AB
3	0,70	0,63	0,65	0,61	0,65a
4	0,68	0,78	0,79	0,64	0,72B
Médias¹	0,67a	0,69a	0,69a	0,67a	
T. Adicional ²	0,66 ^{ns}		0,66 ^{ns}		
CV (%)	----- 9,20 -----				

¹Médias 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. ^{**}(²)Significativo entre as médias dos tratamentos e entre os tratamentos adicionais [(Sem aplicação de ácido cítrico e P₂O₅; Aplicação P₂O₅ (900 mg dm⁻³) e 0,5 g m⁻³ de ácido cítrico respectivamente)]. ^{ns}Não significativo.

Ao adicionar o adubo fosfatado, na dose de 900 mg dm⁻³, a concentração de P₂O₅ na solução

do solo foi de 45,79 mg dm⁻³ no tratamento que recebeu AC e 40,93mg dm⁻³ na ausência do ácido

(Tabela 5). Sugerindo que a adição de ácido cítrico ao solo promove maior disponibilização de fósforo à solução do solo. O AC tem potencial de disponibilizar fósforo às plantas até mesmo em solos com alta capacidade de fixação e assim proporcionar o crescimento da cultura (Oburger et al., 2011). Outra sugestão é a possibilidade de o ácido cítrico estimular a atividade microbiana e da enzima fosfatase levando a dissolução de P orgânico no solo (Wei et al., 2010).

Os teores de zinco no solo, após adição de ácido cítrico e doses de P_2O_5 , variaram de 0,61 a 0,82 mg dm^{-3} , valores não influenciados pela dose do adubo fosfatado, mas pelo parcelamento do ácido cítrico. Quando o ácido foi aplicado em quatro vezes, o teor de zinco no solo foi equivalente a 0,72 mg dm^{-3} , superior em 0,07 mg em relação àqueles determinados nos tratamentos referentes ao parcelamento em três vezes ou onde não houve o parcelamento (Tabela 5). Sugerindo que nas condições do trabalho, o parcelamento da dose de 0,5 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

A aplicação de ácido cítrico no substrato favorece o crescimento das mudas de café, sendo este efeito observado principalmente quando o ácido é adicionado ao substrato com baixa dose de fósforo. O parcelamento da aplicação do ácido cítrico em 2 e 3 vezes proporciona maior massa seca do sistema radicular e foliar em relação a uma única aplicação o que contribui com redução da dose de adubo fosfatado.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais [FAPEMIG] e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [CAPES].

Referências

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

Association of Official Analytical Chemists. (1975). *Official methods of analysis* (12. ed., 1094p). Washington DC: AOAC.

Braga, J.M., & Defellipo, B.V. (1974). Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21 (113), 73-85.

Favarin, J.L., et al. (2002). Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (6), 769-773.

Ferreira, D.F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (6), 1039-1042.

Goncalves, S.M., et al. (2009). Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. *Ciência e Agrotecnologia*, 33 (3), 743-752.

Gontijo, R.A.N., et al. (2007). Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*L.). *Coffee Science*, 2 (2), 135-141.

Grant, C. A., et al. (2001). A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agrônomicas*, 95, 1-16.

Lemos, V.T., et al. (2015). Ácido cítrico e fósforo no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de café. *Coffee Science*, 10 (3), 298-308.

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

Martins, L.D., et al. (2013). Alterações morfológicas em clones de cafeeiro conilon submetidos a níveis de fósforo. *Scientia Plena*, 9 (4).

Neto, A.P., et al. (2016). Analysis of phosphorus use efficiency traits in *Coffea* genotypes reveals *Coffea arabica* and *Coffea canephora* have

- contrasting phosphorus uptake and utilization efficiencies. *Frontiers in Plant Science*, 7 (408).
- Nogueira, F.D., et al. (2002). Efeito do uso de zinco e ácido cítrico na produção de café "Acaia" adensado. *Anais do Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil*, Brasília, DF, Brasil, 2.
- Oburger, E., Jones, D.L., & Wenzel, W. W. (2011). Phosphorus saturation and pH differentially regulate the efficiency of organic acid anion-mediated P solubilization mechanisms in soil. *Plant and Soil*, 341 (1-2), 363-382.
- Palomo, L., Claassen, N., & Jones, D.L. (2006). Differential mobilization of P in the maize rhizosphere by citric acid and potassium citrate. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 683-692.
- Pozza, A. A. A., et al. (2007). Efeito do tipo de substrato e da presença de adubação suplementar sobre o crescimento vegetativo, nutrição mineral, custo de produção e intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro formadas em tubetes. *Ciência e agrotecnologia*, 31 (3), 685-692.
- Raij, B. Van., et al. (2001). (Eds.) *Análise química para a avaliação da fertilidade do solo* (285p). Campinas: Instituto Agrônomo.
- Reis, P.R., & Cunha, R.L. (2010). Café Arábica do plantio à colheita In: Guimarães, P.T.G., & Reis, T.H.P. (2010). *Nutrição e adubação do cafeeiro* (Cap 6, pp.343-414). Lavras: Epamig.
- Reza, S.K., et al. (2017). Phosphorus solubilization through organic acids production in pressmud composted with rockphosphate. *National Academy Science Letters*, 40 (1), 39-52.
- Ryan, P.R., et al. (2003). Strategies to isolate transporters that facilitate organic anion efflux from plant roots. *Plant and Soil*, 248 (1-2), 61-69.
- Santinato, F., et al. (2014). Doses of phosphorus associated with nitrogen on development of coffee seedlings. *Coffee Science* 9 (3), 419-426.
- Sena, J.O.A., Labate, C. A., & Cardoso, E.J.B.N. (2004). Physiological characterization of growth depression in arbuscular mycorrhizal citrus seedlings under high P levels. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28 (5), 827-832.
- Silva, A. A., & Delatorre, C. A. (2009). Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 8 (2), 152-163.
- Silva, L.D., et al. (2010). Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 459 (9), 965-972.
- Van Hees, P.A.W, Vinogradoff, S.I, Edwards, A.C, Godbold, D.L., & Jones DL. (2003). Low molecular weight organic acid adsorption in forest soils: effects on soil solution concentrations and biodegradation rates. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (8), 1015-1026.
- Wei, L., Chen, C., & Xu Z. (2010). Citric acid enhances the mobilization of organic phosphorus in subtropical and tropical forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 46 (7), 765-769.

Recebido em: 03/10/2018
Aceito em: 11/08/2020