

Disponibilidade de fósforo e eficiência de uso de nutrientes pelos citros

Fernando C. Bachiega Zambrosi¹, Dirceu Mattos Júnior²,
José Antônio Quaggio¹ & Rodrigo Marcelli Boaretto²

RESUMO

O estudo do efeito da disponibilidade de fósforo (P) sobre a eficiência de uso de nutrientes amplia o entendimento das respostas dos citros à deficiência de P. Assim, plântulas dos porta-enxertos (PEs) limão Cravo, citrumelo Swingle, tangerinas Cleópatra e Sunki foram cultivadas em solução nutritiva com concentrações de P de 0,0125; 0,05; 0,2 e 0,8 mmol L⁻¹. Após 100 dias nestas condições, procedeu-se a coleta das plantas e a separação em folhas, ramos e raízes para determinação do crescimento e teores de N, K, Ca, Mg, S e B. A absorção de nutrientes pelos PEs foi proporcional ao suprimento de P na solução nutritiva, e ocorreu na seguinte ordem: Cravo > Swingle > Sunki ≥ Cleópatra. A eficiência específica de absorção e a eficiência de utilização de N, K, Ca, Mg, S e B diferiram entre os PEs. Entretanto, para todos os PEs, estes parâmetros de eficiência foram reduzidos pela baixa disponibilidade de P, sugerindo que aumento na eficiência de uso de nutrientes nos citros depende do adequado suprimento de P às plantas.

Termos de indexação: solução nutritiva; nutrição mineral; porta-enxerto; demanda nutricional.

SUMMARY

Phosphorus availability and nutrient-use efficiency by citrus

The evaluation of the effects of P availability on the nutrient use efficiency might be useful to improve the understanding of citrus' responses to P deficiency. Therefore, seedlings of the citrus rootstocks Rangpur lime, Swingle citrumelo, Cleopatra and Sunki mandarins were grown on nutrient solution with 0.0125; 0.05; 0.2 and 0.8 mmol L⁻¹ of P. After 100 days of P treatments, the plants were harvested and further separated into leaves, stem and roots to quantify growth and the concentrations of N, K, Ca, Mg, S and B. The absorption of the nutrients by the rootstocks was proportional to P supply in the nutrient solution, and the following pattern of nutrient accumulation was observed: Rangpur lime > Swingle citrumelo > Sunki mandarin ≥ Cleopatra mandarin. The specific absorption efficiency and the efficiency of utilization of N, K, Ca, Mg, S and B were variable among the rootstocks. However, for all rootstocks these efficiency parameters were reduced by the P deficiency, suggesting that improved nutrient use efficiency by citrus plants depended on the adequate P supply.

Index terms: nutrient solution; mineral nutrition; rootstock; nutritional demand.

¹ Centro de Solos e Recursos Ambientais/IAC. Avenida Barão de Itapura, CP 28, 13012-970, Campinas-SP

* Endereço para correspondência: zambrosi@iac.sp.gov.br

² Centro de Citricultura Sylvio Moreira/IAC

INTRODUÇÃO

Os efeitos negativos de estresses nutricionais têm sido observados sobre a eficiência de uso de nutrientes nos cultivos agrícolas, com base no menor crescimento e produtividade por unidade de nutriente aplicado e/ou absorvido (Israel & Ruffy, 1988; Valle et al., 2011). Por exemplo, no caso dos citros, as eficiências de absorção e de utilização de nutrientes para a produção de biomassa foram reduzidas pela imposição do estresse salino em plantas supridas com quantidades adequadas de nutrientes (Lea-Cox & Syvertsen, 1993; Ruiz et al., 1997).

Em solos tropicais, uma limitação frequente ao crescimento e produtividade das culturas é a baixa disponibilidade de fósforo (P), o que afeta diretamente a magnitude e frequência de respostas à fertilização com outros nutrientes (Wang et al., 2010). Nestas condições, o P deve atuar como um importante regulador da eficiência de uso de nutrientes. Isto foi observado em porta-enxertos (PEs) cítricos cultivados em solução nutritiva desprovida de P, que apresentaram menor eficiência de utilização de nitrogênio para a produção de biomassa foliar em comparação ao tratamento com adequado suprimento de P (Zambrosi et al., 2011). Esses resultados sugerem que para uma mesma quantidade de nitrogênio alocada nas folhas, em plantas deficientes em P, o aproveitamento e a conversão do nitrogênio em crescimento foram reduzidos. Desta maneira, melhor entendimento sobre a influência da disponibilidade de P na eficiência de uso de nutrientes é importante para maximizar a produtividade e as respostas dos citros à aplicação de nutrientes em solos com baixos teores disponíveis de P.

De acordo com o exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da disponibilidade de P sobre a eficiência de uso de nutrientes em diferentes PEs cítricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação, no período entre setembro e dezembro de 2008, com temperaturas máxima de 31-38 °C e mínima de 14-21 °C. Foram estudados os PEs tangerina Cleópatra (*Citrus reshni* hort. ex Tanaka), limão Cravo (*Citrus limonia* Osbeck), tangerina Sunki [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka] e citrumelo Swingle [*Citrus paradisi* Macfad. cv. Duncan x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.].

As plântulas em estágio semelhante de crescimento (2-3 pares de folhas), crescidas em tubetes, foram selecionadas em viveiro comercial. Após uma semana de aclimação na casa-de-vegetação, dez indivíduos de cada PE foram transferidos para recipientes plásticos contendo 13,5 L de solução nutritiva diluída à ¼ da força iônica e desprovida de P (Sarruge, 1975; Furlani et al., 1999). Após cinco dias, a solução foi renovada por outra à ½ da força iônica, seguindo-se o cultivo pelo mesmo período, quando a solução foi substituída por uma com força iônica completa [N (11% como NH_4^+), K, Ca, Mg e S = 9,6; 3,6; 4,0; 1,2; 1,2 mmol L⁻¹; e B, Fe, Mn, Zn, Cu e Mo = 28; 54; 5,5; 2,1; 1,1 e 0,01 µmol L⁻¹, respectivamente], variando-se as concentrações de P. A solução nutritiva foi renovada a cada dez dias, mantendo-se os volumes dos recipientes constantes com adição de água deionizada. O pH do meio foi ajustado para próximo de 5,5 e o fornecimento contínuo de oxigênio foi feito com um compressor de ar.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas principais foram constituídas por concentrações de P na solução nutritiva (0,0125; 0,05; 0,2 e 0,8 mmol L⁻¹ de P), enquanto os PEs, que foram cultivados no mesmo recipiente, corresponderam às subparcelas. Aos 45 dias do transplantio, objetivando maior uniformidade, quatro plantas de cada PE foram removidas de cada recipiente, cultivando-se as seis plantas restantes até o final do experimento.

Após 100 dias do início dos tratamentos, os PEs foram coletados e separados em folhas, ramos e raízes. As diferentes partes foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h para a quantificação de matéria seca (MS) de folhas, de ramos e das raízes, conforme Zambrosi et al. (2012a). A determinação da concentração (g kg⁻¹ ou mg kg⁻¹) de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B) no tecido vegetal foi realizada segundo Bataglia et al. (1983). A absorção total de nutrientes pelos PEs (mg planta⁻¹ ou µg planta⁻¹) foi obtida a partir do produto entre a concentração dos nutrientes nas diferentes partes das plantas e o acúmulo de MS. Calcularam-se também: *i*) eficiência específica das raízes na absorção de nutrientes (EA, mg g⁻¹) = (quantidade do nutriente na planta, mg)/(MS das raízes, g) (Swiader et al., 1994;

Bertauski et al., 1997) e *ii*) eficiência de utilização de nutrientes em crescimento ($EU, g^2 mg = (MS \text{ total da planta, g})^2 / (\text{quantidade do nutriente, mg})$ (Siddiqi & Glass, 1981).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, no caso de interação significativa entre concentrações de P e os PEs, o efeito dos tratamentos de P para cada PE foi determinado por análise de regressão (ajuste linear ou quadrático) ou comparados pelo teste de Duncan ($p < 0,05$), que também foi usado na comparação entre os PEs.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de crescimento dos PEs em função do suprimento de P foram apresentados e discutidos em Zambrosi et al. (2012a). De maneira geral, o seguinte padrão de produção de MS foi observado: Cravo > Swingle > Sunki ≥ Cleópatra. Em relação à absorção total de N, K, Ca, Mg, S e B, houve interação significativa ($p < 0,05$) entre concentrações de P e PEs (Figura 1), sugerindo efeito variável da disponibilidade de P sobre as respostas de cada PE. Exceto na comparação com Swingle para Ca, Mg e S na concentração mais baixa de P, o Cravo teve o maior absorção de N, K, Ca, Mg, S e B entre os PEs (Figura 1). Ao contrário, a Cleópatra apresentou a menor absorção dos nutrientes, exceto para N em 0,0125; 0,05 e 0,2 mmol L⁻¹ de P, para K em 0,2 mmol L⁻¹ de P, para Mg em todas as concentrações de P, e B em 0,05 e 0,2 mmol L⁻¹ de P, em que as quantidades absorvidas foram semelhante à Sunki. As diferenças encontradas na absorção total de nutrientes entre os PEs foram consequências das características de vigor de crescimento, desde que, o Cravo apresentou a mais elevada produção de MS (Zambrosi et al., 2012a), a qual regula a demanda de nutrientes pelos citros (Zambrosi et al., 2012b).

A absorção de N, K, Ca, Mg, S e B pelos PEs foi proporcional ao fornecimento de P na solução nutritiva, porém, com padrão de resposta distinto entre os PEs (Figura 1). Por exemplo, no caso do Cravo, verificou-se um ponto de máximo, enquanto que para os outros PEs, exceto para o Swingle em relação à absorção de N e B, a resposta foi linear ao P (Figura 1). De acordo com as equações de regressão, as concentrações de P na solução nutritiva que resultam na absorção máxima de nutrientes pelo Cravo estão ao redor de 0,55 mmol L⁻¹. Nessas

concentrações, as quantidades absorvidas de N, K, Ca, Mg, S corresponderiam a 232,6; 118,7; 84,2; 12,5; 20,9 mg planta⁻¹, respectivamente, enquanto que para o B, o valor seria de 516,0 µg planta⁻¹. Na comparação entre as tangerinas, com base nos coeficientes angulares dos modelos de ajuste (Figura 1), a absorção de nutrientes pela Sunki foi mais responsiva ao P do que a Cleópatra. A influência da disponibilidade de P na solução nutritiva sobre as quantidades absorvidas de nutrientes ocorreu como consequência do efeito positivo deste nutriente sobre a produção de MS (Zambrosi et al., 2012a), o que elevou a demanda nutricional.

A EA de nutrientes também apresentou interação significativa ($p < 0,05$) entre concentrações de P e PEs (Tabela 1). Na comparação entre os tratamentos de P, a EA em 0,0125 mmol L⁻¹ de P foi reduzida em 16-36% para N, 27-49% para K, 21-53% para Ca, 37-51% para Mg, 27-52% para S, e 38-43% para B em relação ao fornecimento de 0,8 mmol L⁻¹ de P na solução nutritiva. A menor EA em 0,0125 mmol L⁻¹ de P foi provavelmente relacionada à reduzida produção de biomassa pelas plantas cultivadas em condição de deficiência de P (Zambrosi et al., 2012a), o que ocasionou mais baixa demanda e acúmulo total de nutrientes (Figura 1). Como resultado, menores quantidades de nutrientes foram absorvidas para cada unidade de MS alocada no sistema radicular (eficiência específica de absorção), conforme encontrado para o N em *Cladium jamaicense* (Lorenzen et al., 2001). De fato, o influxo máximo de nutrientes foi mais elevado nas raízes de plantas adequadamente supridas com P mediante o aumento no número de proteínas transportadoras para atender a maior demanda nutricional (Khandan-Mirkohi & Schenk, 2009).

Diferenças entre os PEs em relação à EA de N, K, Ca, Mg, S e B, quando estes nutrientes foram fornecidos em concentrações adequadas na região radicular também foram observadas no presente estudo (Tabela 1). O Cravo, exceto em 0,0125 mmol L⁻¹ de P, teve EA de N que foi 29-67% mais elevada do que os demais PEs. Para o K, o Swingle apresentou a mais baixa EA, o que está coerente com os resultados obtidos por Mattos Jr et al. (2006). Esses autores observaram que árvores sobre Swingle foram mais exigentes na adubação com K em comparação ao Cravo e Cleópatra. Em relação ao Ca e Mg, as diferenças na EA destes nutrientes entre os PEs dependeram da disponibilidade de P, não podendo assim, ser definido um padrão consistente de

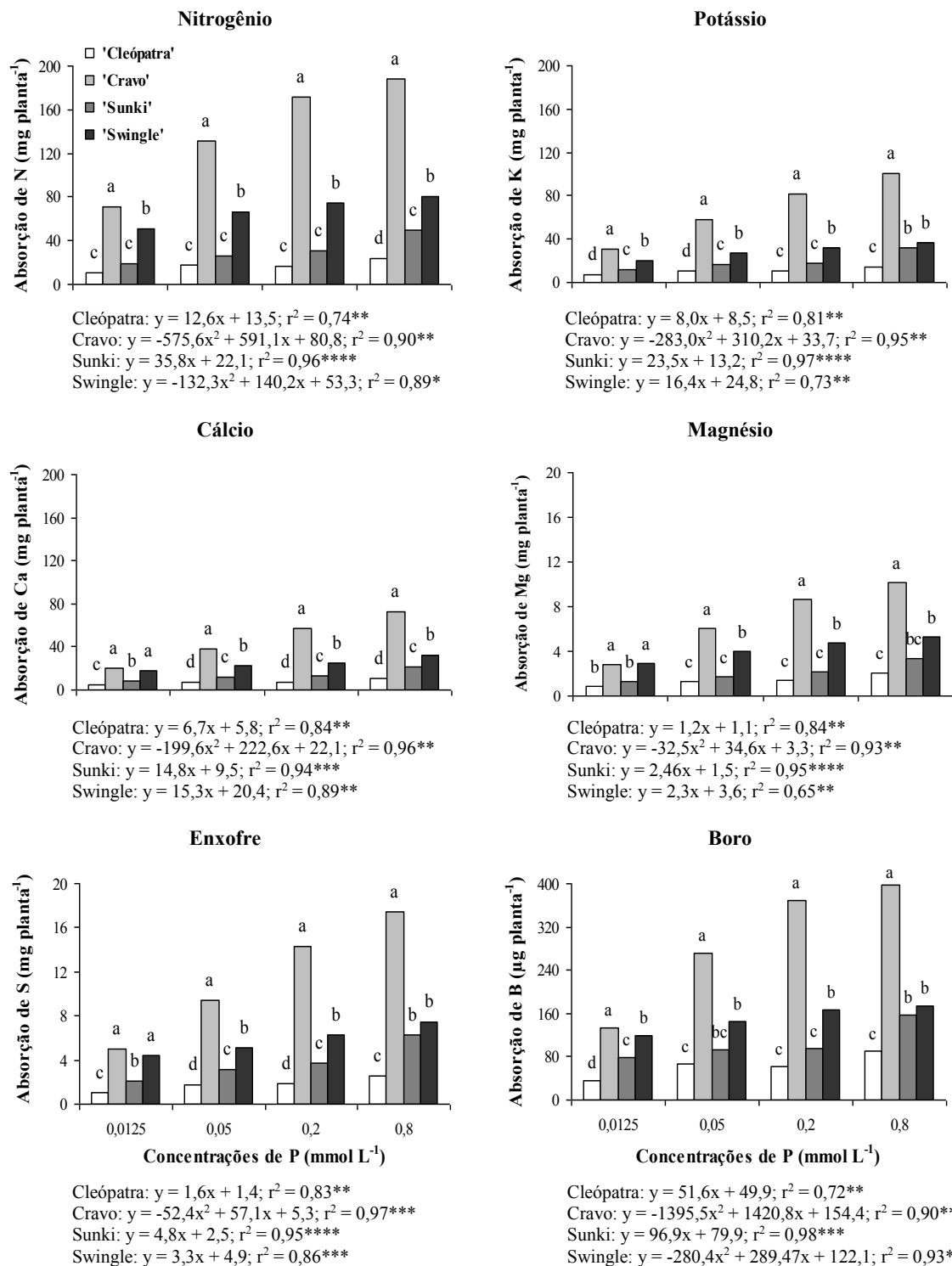


Figura 1. Absorção de nutrientes por quatro porta-enxertos cítricos cultivados em solução nutritiva com variado suprimento de fósforo (P). Comparação entre porta-enxertos: colunas com letras iguais dentro do mesmo tratamento de P não diferem pelo teste de Duncan a 0,05. Comparação entre tratamentos de P: o efeito da concentração de P foi ajustado a modelos de regressão para cada porta-enxerto, onde \hat{y} = nutriente absorvido (mg ou µg planta⁻¹), e x = mmol L⁻¹ de P na solução nutritiva. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; **** $p < 0,0001$.

Tabela 1. Eficiência específica das raízes na absorção (EA) de nutrientes por quatro porta-enxertos cítricos cultivados em diferentes concentrações de fósforo (P) na solução nutritiva

Porta-enxertos	Concentrações de P (mmol L ⁻¹)			
	0,0125	0,05	0,2	0,8
EA de Nitrogênio (mg g ⁻¹)				
Cleópatra	74,3 abB	85,0 bA	90,6 bA	88,3 bA
Cravo	80,7 aC	109,4 aB	143,1 aA	126,6 aA
Sunki	68,6 abB	73,1 bAB	85,9 bAB	91,0 bA
Swingle	54,1 bB	67,9 bAB	86,3 bA	79,8 cAB
EA de Potássio (mg g ⁻¹)				
Cleópatra	49,0 aA	51,6 aA	54,7 bA	55,3 bA
Cravo	34,4 bcB	48,8 aB	67,7 aA	67,5 aA
Sunki	42,2 abB	44,8 aB	49,9 bAB	57,8 bA
Swingle	22,8 cB	28,5 bAB	36,9 cA	34,9 cA
EA de Cálcio (mg g ⁻¹)				
Cleópatra	32,9 aB	36,5 aAB	38,0 bAB	41,4 bA
Cravo	23,1 bB	32,6 abB	47,3 aA	48,8 aA
Sunki	28,6 abB	31,7 abAB	33,5 bcAB	38,1 bA
Swingle	20,1 bB	23,0 bAB	29,2 cA	30,4 cA
EA de Magnésio (mg g ⁻¹)				
Cleópatra	6,0 aA	6,5 aA	7,3 aA	7,5 aA
Cravo	3,3 bC	5,1 abB	7,0 aA	6,7 aA
Sunki	4,6 abA	4,8 bA	6,1 aA	6,2 aA
Swingle	3,2 bB	4,1 bAB	5,5 aA	5,1 aA
EA de Enxofre (mg g ⁻¹)				
Cleópatra	7,2 aB	8,4 aAB	10,2 aA	10,8 aA
Cravo	5,6 abC	7,9 aB	11,9 aA	11,6 aA
Sunki	7,3 aC	8,4 aBC	10,4 aAB	11,4 aA
Swingle	5,0 bA	5,3 bA	7,2 bA	7,1 bA
EA de Boro (mg g ⁻¹)				
Cleópatra	0,30 aA	0,31 aA	0,35 aA	0,36 aA
Cravo	0,18 bB	0,21 bB	0,30 aA	0,29 bA
Sunki	0,27 aA	0,28 abA	0,29 aA	0,31 abA
Swingle	0,12 bB	0,13 cB	0,20 bA	0,21 cA

As médias acompanhadas por letras minúsculas iguais na mesma coluna e por letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Duncan a 0,05.

Tabela 2. Eficiência de utilização (EU) de nutrientes para crescimento por quatro porta-enxertos cítricos cultivados em diferentes concentrações de fósforo (P) na solução nutritiva

Porta-enxertos	Concentrações de P (mmol L ⁻¹)			
	0,0125	0,05	0,2	0,8
EU de Nitrogênio (g ² mg ⁻¹)				
Cleópatra	0,16 dB	0,26 cA	0,23 dA	0,26 dA
Cravo	0,74 aC	1,61 aB	1,74 aB	2,10 aA
Sunki	0,25 cC	0,40 cB	0,37 cB	0,49 cA
Swingle	0,65 bB	0,82 bA	0,82 bA	0,87 bA
EU de Potássio (g ² mg ⁻¹)				
Cleópatra	0,24 bC	0,42 cA	0,31 cB	0,41 cA
Cravo	1,77 aB	3,64 aA	3,70 aA	3,85 aA
Sunki	0,40 bB	0,66 cA	0,64 cA	0,75 cA
Swingle	1,50 aB	1,98 bA	1,93 bA	1,92 bA
EU de Cálcio (g ² mg ⁻¹)				
Cleópatra	0,36 cD	0,60 cA	0,49 dB	0,54 cB
Cravo	2,58 aB	5,50 aA	5,26 aA	5,40 aA
Sunki	0,59 cB	0,95 cA	0,96 cA	1,14 cA
Swingle	1,40 bB	2,43 bA	2,40 bA	2,20 bA
EU de Magnésio (g ² mg ⁻¹)				
Cleópatra	2,00 cB	3,38 cA	2,85 cA	3,10 cA
Cravo	18,61 aB	35,34 aA	36,29 aA	39,60 aA
Sunki	3,71 cB	6,16 cA	5,60 cA	7,29 bcA
Swingle	11,49 bA	13,64 bA	13,11 bA	13,79 bA
EU de Enxofre (g ² mg ⁻¹)				
Cleópatra	1,57 cC	2,60 cA	1,64 cC	2,28 cB
Cravo	10,61 aB	22,52 aA	21,00 aA	22,15 aA
Sunki	2,19 cB	3,46 cA	3,10 cA	3,81 cA
Swingle	7,31 bB	10,67 bA	9,86 bA	9,62 bA
EU de Boro (g ² mg ⁻¹)				
Cleópatra	34,91 cC	66,12 cA	49,64 dB	66,72 cA
Cravo	393,54 aC	777,81 aB	805,96 aB	973,66 aA
Sunki	70,30 cC	103,49 cC	128,04 cB	153,97 cA
Swingle	274,20 bB	374,08 bB	408,78 bA	405,30 bA

As médias acompanhadas por letras minúsculas iguais na mesma coluna e por letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem pelo teste de Duncan a 0,05.

resposta (Tabela 1). Por exemplo, a EA de Ca e Mg da Cleópatra em 0,0125 mmol L⁻¹ de P foi mais elevada do que o Cravo, porém em 0,8 mmol L⁻¹ de P, resultado oposto ocorreu para a EA de Ca e a diferença deixou de ocorrer para a EA de Mg. Quanto a EA de S, não foi observada variação entre Cleópatra, Cravo e Sunki, enquanto que o Swingle teve a mais baixa EA para este nutriente (Tabela 1). Em relação à EA de B, o Swingle foi novamente o PE menos eficiente (Tabela 1). Esta diferença na EA de B seria um dos fatores relacionados ao fato que as laranjeiras sobre Swingle têm elevada demanda por B e a necessidade que a dose de adubação com este micronutriente seja mais alta na comparação com árvores enxertadas sobre outros PEs (Boaretto et al., 2008; Quaggio et al., 2010).

O efeito da disponibilidade de P sobre a EU de nutrientes foi distinto entre os PEs, conforme sugerido pela interação significativa ($p < 0,05$) entre concentrações de P e PEs (Tabela 2). A EU foi menor em 0,0125 mmol L⁻¹ de P, e correspondeu a 35-75%, 46-78%, 48-67%, 47-65%, 48-76% e 40-68% da EU obtida em 0,8 mmol L⁻¹ de P para N, K, Ca, Mg, S e B, respectivamente (Tabela 2). Portanto, além da redução na absorção total dos nutrientes na condição de deficiência de P (Figura 1), a utilização dos nutrientes presentes no tecido vegetal para a produção de biomassa também foi afetada. A menor EU em 0,0125 mmol L⁻¹ de P resultou da reduzida capacidade de produção de fotoassimilados e consequentemente do menor ganho de MS nos PEs deficientes em P (Zambrosi et al., 2011; Zambrosi et al., 2012a). Entre os PEs, o Cravo teve a EU mais elevada, enquanto que, as tangerinas Cleópatra e Sunki foram menos eficientes (Tabela 2). Por exemplo, em 0,0125 mmol L⁻¹ de P, a EU de N, K, Ca, Mg, S e B foi 4,6; 7,4; 7,2; 9,3; 6,8; e 11,3 vezes, respectivamente, mais elevada para o Cravo em comparação à Cleópatra. Esse padrão de EU foi associado ao vigor de crescimento de cada PE, e portanto, a produção de MS para cada unidade de nutriente absorvida (Pestana et al., 2011).

CONCLUSÕES

Os porta-enxertos diferem quanto à demanda nutricional e a eficiência de uso de nutrientes, porém, a baixa disponibilidade de P afeta a quantidade absorvida, a eficiência específica de absorção e a eficiência de utilização dos nutrientes em todos os porta-enxertos.

Portanto, a maximização na eficiência de uso de nutrientes nos citros depende do adequado suprimento de P às plantas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2007/04634-3. Horticitrus pelo fornecimento dos porta-enxertos cítricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bataglia OC, Furlani AMC, Teixeira JPF, Furlani PR, Gallo JR (1983) Método de análise química de plantas. Instituto Agrônomo, Campinas, 48p.
- Bertauski AF, Swiader, JM, Wehner DJ (1997) Dry Weight Production and Nitrogen Efficiency Traits in Kentucky Bluegrass Cultivars in Nutrient Solution and Soil. *Crop Science* 37: 1548-1553.
- Boaretto RM, Quaggio JA, Mourão Filho FAA, Gine MF, Boaretto AE (2008) Absorption and Mobility of Boron in Young Citrus Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 2501-2514.
- Furlani PR, Silveira LCP, Bolonhezi D, Faquin V (1999) Cultivo hidropônico de plantas. Instituto Agrônomo, Campinas, 1999. 32p.
- Israel DW, Ruffy TW (1988) Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological responses in soybean. *Crop Science* 28: 954-960.
- Khandan-Mirkohi A, Schenk MK (2009) Characteristics of phosphorus uptake kinetics of poinsettia and marigold. *Scientia Horticulturae* 122: 251-257.
- Lea-Cox HD, Syvertsen JP (1993) Salinity reduces water use efficiency and nitrate-use efficiency of citrus. *Annals of Botany* 72: 47-54.
- Lorenzen B, Brix H, Mendelssohn IA, Mckee KL, Maiod SL (2001) Growth, biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany* 70: 117-133.

- Mattos Jr D, Quaggio JA, Cantarella H, Alva AK, Graetz DA (2006) Responses of selected rootstocks to nitrogen phosphorus and potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1371-1385.
- Pestana M, Correia PJ, David M, Abadía A, Abadía J (2011) Response of five citrus rootstocks to iron deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 837-846.
- Quaggio JA, Mattos Jr D, Boaretto RM (2010) Citros. In: Prochnow LI, Casarin V, Stipp SR. (Eds). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, p. 371-409.
- Ruiz D, Martínez V, Cerdá A (1997) Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiology* 17: 141-150.
- Sarruge JR (1975) Soluções nutritivas. *Summa Phytopatologica* 1: 231-233.
- Siddiqi MY, Glass ADM (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition* 4: 289-302.
- Swiader JM, Chyan Y, Freiji FG (1994) Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition* 17: 1687-1699.
- Valle SR, Pinochet D, Calderini DF (2011) Uptake and use efficiency of N, P, K, Ca and Al by-Al-sensitive and Al-tolerant cultivars of wheat under a wide range of soil Al concentrations. *Field Crops Research* 121: 392-400.
- Wang Y, Wang E, Wang D, Huang S, Ma Y, Smith CJ, Wang L (2010) Crop productivity and nutrient use efficiency as affected by long-term fertilisation in North China Plain. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 105-119.
- Zambrosi FCB, Mattos Jr D, Syvertsen JP (2011) Plant growth, leaf photosynthesis, and nutrient-use efficiency of citrus rootstocks decrease with phosphite supply. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 487-495.
- Zambrosi FCB, Mattos Jr D, Furlani PR, Quaggio JA, Boaretto RM (2012a) Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36: 485-496.
- Zambrosi FCB, Mattos Jr D, Boaretto RM, Quaggio JA, Muraoka T, Syvertsen JP (2012b) Contribution of phosphorus absorption and remobilization for citrus growth. *Plant and Soil* 355: 353-362.

*Recebido: 05/03/2013 – Aceito: 23/07/2013
(CRT 059-13)*