



## Efeito da adubação fosfatada na produção de raízes de soja<sup>(1)</sup>

Danilo Silva Almeida<sup>(2)</sup>; Murilo de Souza<sup>(3)</sup>; Kassiano Felipe Rocha<sup>(2)</sup>;  
João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon<sup>(2)</sup>; Bruno Correa Aires<sup>(2)</sup>; Ciro Antonio Rosolem<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

<sup>(2)</sup> Estudante de doutorado em Agronomia/Agricultura; Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA/UNESP; Botucatu, São Paulo; (daniloalmeida@fca.unesp.br); <sup>(3)</sup> Estudante de mestrado em Agronomia/Agricultura; FCA/UNESP; <sup>(4)</sup> Estudantes de doutorado em Agronomia/Agricultura; FCA/UNESP; <sup>(4)</sup> Professor Titular do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal; FCA/UNESP.

**RESUMO:** Adaptações morfológicas nas raízes constituem uma importante estratégia para aquisição do fósforo (P) no solo. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o comprimento, diâmetro médio, e área superficial de raízes de soja de acordo com a disponibilidade P. Foi dado continuidade a um experimento de longa duração, instalado na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP), Botucatu, Estado de São Paulo. O delineamento adotado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, avaliando três doses de P: 0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicadas na linha de semeadura da soja. A semeadura da soja foi realizada em novembro de 2014. Foi realizada amostragem de solo nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, e 0,20-0,40 m de profundidade, na linha e na entre linha da cultura da soja. As amostras de raízes foram submetidas a um scanner de leitura ótica na resolução de 300 dpi, e as imagens foram digitalizadas e analisadas com o programa WinRhizo para determinação do comprimento, área superficial, e diâmetro médio. De um modo geral, o comprimento e a área superficial foram elevados de acordo com o aumento da dose de P aplicada, principalmente nas camadas superficiais do solo. A maior disponibilidade de P proporcionada pela dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não resulta em redução da produção de raízes, e a baixa disponibilidade de P após vários anos sem adubação fosfatada não resulta em aumento da produção de raízes de soja.

**Termos de indexação:** WinRhizo; Super fosfato triplo; Desenvolvimento radicular.

### INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um dos principais nutrientes requerido pelas plantas, entretanto é um dos mais imóveis e também mais indisponíveis em regiões tropicais, onde os solos são ricos em óxidos de ferro e alumínio, com altos teores de argila, e com pH baixo (Richter & Babbar, 1991). No sistema solo-planta, a eficiência de absorção de P pelas raízes é o resultado de interações de características morfofisiológicas das raízes, das condições químicas alteradas pela planta na rizosfera, do teor de água no

solo, de impedimentos físicos proporcionados pela compactação do solo, e da disponibilidade do P no solo, influenciada principalmente pela acidez, teor de alumínio, e grau de intemperismo do solo (Clarkson & Hanson; 1980).

A habilidade das plantas de se desenvolverem em solos com baixo teor de fósforo disponível tem sido atribuída à diversas adaptações morfológicas e fisiológicas. Dentre estas adaptações estão: formação de raízes finas e longas, simbiose com micorrizas arbusculares, aumento na exsudação de ácidos orgânicos, alteração no pH da rizosfera, e aumento na produção de fosfatases. O investimento no sistema radicular com relação a melhor absorção de fósforo não está relacionado com a interceptação deste nutriente pelas raízes, e sim na promoção de uma maior difusão do fósforo, pelo aumento da área superficial da raiz (Barley, 1970).

Raízes mais finas e mais compridas resultam em aumento da superfície radicular, que junto com os pelos radiculares, são mais eficientes em explorar um maior volume de solo e adquirir mais fósforo (Vandamme et al., 2013). De acordo com Syring & Claassen (1995), raízes com menor diâmetro podem manter um alto influxo por mais tempo do que raízes grossas. Estas características morfológicas são controladas geneticamente, mas o teor de fósforo no solo também pode influenciá-las, dependendo da espécie ou até mesmo do cultivar (Vandamme et al., 2013), revelando um importante mecanismo de adaptação para as plantas em condição de baixa disponibilidade de P (Lambers et al., 2006). Enquanto que o aumento na produção de raízes favorece a absorção de um nutriente tão pouco móvel como o fósforo, o aumento na biomassa radicular pode determinar um maior custo relacionado com a produção e manutenção de raízes (Wang; Yan & Liao, 2010).

O objetivo do trabalho foi avaliar se o comprimento, diâmetro médio, e área superficial de raízes de soja são reduzidos com o aumento da disponibilidade de P, bem como verificar se a menor disponibilidade de P resulta em maior produção de raízes.



## MATERIAL E MÉTODOS

Foi dado sequência a um experimento de longa duração, instalado na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP), Botucatu, Estado de São Paulo, localizado à latitude de 22°51' S, longitude de 48°26' W Grw, e na altitude de 840 m. A área é cultivada sob semeadura direta desde 2001. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, de textura média, com 21% de fração argila na camada de 0,00-0,20 m de profundidade.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados três doses de P: 0, 30, e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicadas no sulco de semeadura da soja (ao lado e abaixo das sementes), na forma de Superfosfato Triplo. Esses tratamentos são aplicados nas mesmas parcelas anualmente, desde 2006.

A semeadura da soja foi realizada no dia 20/11/2014, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. Foi mantida uma população final de aproximadamente 289 mil plantas ha<sup>-1</sup> da cultivar TMG7062IPRO. Junto aos tratamentos, aplicou-se 40 kg de K<sub>2</sub>O com a fonte cloreto de potássio em todas as parcelas, logo abaixo e ao lado do sulco de semeadura. As sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* a fim de favorecer o fornecimento de nitrogênio.

A amostragem de raízes foi realizada aos 69 dias após a semeadura, quando a cultura da soja se apresentava no estágio de florescimento pleno (R2). Utilizou-se uma sonda de aço com 46 mm de diâmetro interno, sendo que foram coletados três pontos na linha de semeadura, e três pontos na entre linha (0,22 m de distância do ponto amostrado na linha de semeadura), para compor cada amostra na linha e na entre linha. As amostras foram coletadas nas seguintes profundidades: 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m.

As amostras foram processadas logo após a coleta, num período máximo de 7 dias, para evitar a deterioração das raízes. Para a separação das raízes do solo, as amostras foram colocadas em bacias contendo água para promover o destorroamento do solo. Posteriormente, a amostra foi peneirada em peneira de malha de 1 mm, repetidamente até a separação de todas as raízes. Utilizou-se pinça para separar as raízes de impurezas como pedras e restos de materiais vegetais em decomposição. Após a limpeza, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos contendo solução com 30% de álcool etílico, e armazenadas sob refrigeração a 2 °C.

As amostras de raízes foram submetidas a um scanner de leitura ótica, na resolução de 300 dpi, e tiveram suas imagens digitalizadas e analisadas com

o programa WinRhizo versão 3.8-b (Regent Instrument Inc.), para determinação do comprimento, área superficial, e diâmetro médio, baseados no método de Tennant (1975). Em seguida as amostras de raízes foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60° C por 48 h, para determinação do peso de matéria seca.

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, teste F a 5% de probabilidade, e quando apresentaram significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, utilizando o software SAS, versão 9.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença para o comprimento radicular nas duas primeiras camadas do solo nas amostras coletadas na linha (**Figura 1a**) e na entre linha da cultura da soja (**Figura 1b**). Na camada de 0,00-0,05 m o comprimento radicular foi maior com a dose 60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tanto na linha quanto na entre linha de semeadura. Na camada de 0,05-0,10 o comprimento radicular na linha foi maior quando houve aplicação de P, independente da dose aplicada, enquanto que na entre linha a maior dose foi a única que resultou em aumento do comprimento radicular. Apesar de que o presente experimento não ter sido delineado para comparar as variáveis estudadas entre as camadas de solo, é clara a diferença entre as duas primeiras camadas e as duas últimas camadas de solo para os valores de comprimento de raízes na linha (**Figura 1a**) e na entre linha (**Figura 1b**), e de área superficial na linha (**Figura 1c**) e na entre linha (**Figura 1d**). Sendo assim, é possível observar que o crescimento de raízes é pronunciado até 0,10 m, e reduzido drasticamente nas camadas seguintes.

Nas camadas de 0,00-0,05 m do solo, a área superficial das raízes foi maior quando houve aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tanto para as amostras coletadas na linha (**Figura 1c**) quanto na entre linha da cultura (**Figura 1d**). Já na camada de 0,05-0,10 m a área superficial de raízes na linha da cultura foi menor quando não houve aplicação de P do que quando houve aplicação da maior dose de P, mas não diferindo significativamente da dose 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para a mesma profundidade, de 0,05-0,10 m, a área superficial na entre linha foi crescente de acordo com o aumento da dose de P aplicada. Esse efeito nas camadas superficiais pode estar relacionado com o aumento do P disponível quando se aplica anualmente 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, onde a



planta tem a possibilidade de absorver mais P, porém quando se adiciona apenas 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o residual para a próxima safra tende a ser menor, assim a planta emite menor área radicular se restringindo ao local de aplicação do fertilizante podendo também explorar outras frações de P no solo, de acordo com o observado por Rubio et al. (2012). Na camada de 0,10-0,20 m a área superficial de raízes na linha de cultivo da soja foi menor quando não houve adubação fosfatada do que quando houve aplicação da maior dose, não diferindo da dose intermediária. Na camada de 0,20-0,40 m a área superficial foi maior com aplicação da maior dose de P, apenas na linha de cultivo.

Houve efeito dos tratamentos no diâmetro médio das raízes coletadas na linha de cultivo apenas na camada de 0,20-0,40 m de profundidade, sendo que o diâmetro foi menor na ausência de adubação e na dose intermediária, em relação a maior dose de P aplicada (**Figura 1e**). Já para a camada 0,00-0,05 m na entre linha, o diâmetro foi superior na ausência de P, e na camada de 0,10-0,20 m o diâmetro foi superior quando houve aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em relação aos demais tratamentos (**Figura 1f**).

Apesar da maior disponibilidade de P proporcionada pela adição anual da dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, não foi observado menor produção de raízes de soja para essa condição no presente estudo. Possivelmente, a baixa concentração de P provocada pela ausência da adubação fosfatada após vários anos foi um fator bastante limitante para o desenvolvimento das plantas de soja, a tal ponto que pôde se refletir negativamente na produção de raiz. Enquanto isso, a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada anualmente não parece ser suficiente para o suprimento de P para a soja, uma vez que a aplicação de dose superior continuou resultando em aumento da produção de raízes. Outra questão é que a eficiência na aquisição de P que já é baixa para a cultura da soja (Muroaka et al., 2006), pode ser ainda menor para a cultivar estudada, resultando em alta produção de raízes mesmo quando há maior disponibilidade de P.

## CONCLUSÕES

A maior disponibilidade de P, proporcionada pela aplicação anual da dose 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não resulta em redução da produção de raízes de soja.

A ausência de aplicação de P após vários anos parece ser um fator tão grave que limita a expressão

das plantas de soja em produzir raízes para aumentar a eficiência de aquisição desse nutriente.

## AGRADECIMENTOS

À Fapesp, pela concessão de bolsa e recursos para execução da referida pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BARLEY, K. P. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. *Advances in Agronomy*, 22:159-201, 1970.

CLARKSON, D. T. & HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31: 239-298, 1980.

LAMBERS, H., et al. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. *Annals of Botany*, 98:693-713, 2006.

MURAOKA, T., et al. Comparison of the ability of different plant species and corn hybrids to access poorly-available soil phosphorus in a Oxisol of the Cerrado region, Brazil. In: FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, org. Management practices for Improving Sustainable Crop Production in Tropical Acid Soils. 1 ed. Vienna: IAEA, 2006. p.137-146.

RICHTER, D. D. & BABBAR, L. I. Soil diversity in the tropics. *Advances in Ecological Research*, 21:316-389, 1991.

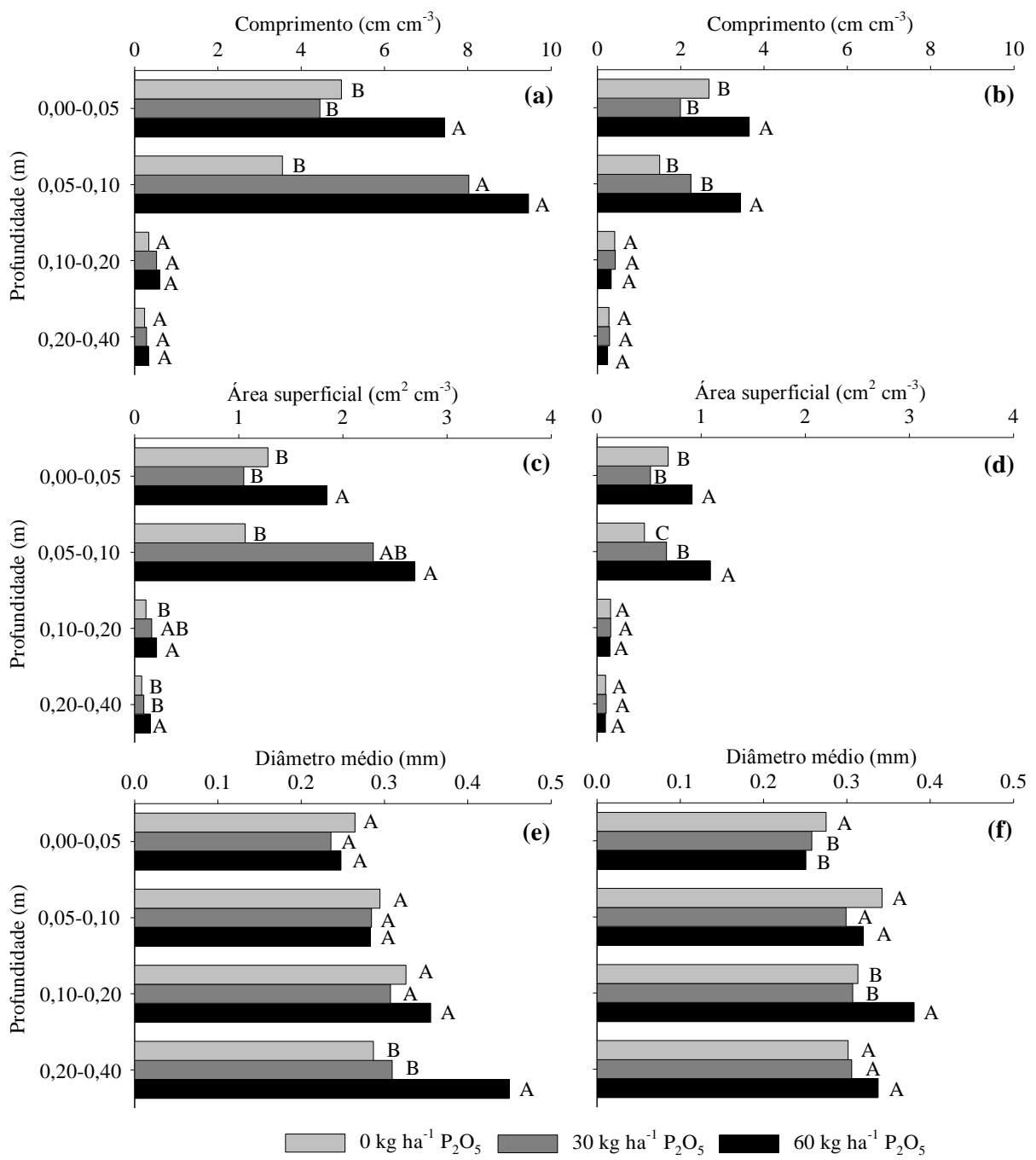
RUBIO, G., et al. Rhizosphere phosphorus depletion by three crops differing in their phosphorus critical levels. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175:810-817, 2012.

SYRING, K.M. & CLAASSEN, N. Estimation of the influx and the radius of the depletion zone developing around a root during nutrient uptake. *Plant and Soil*, 175:115-123, 1995.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, 63:995-1001, 1975.

VANDAMME, E., et al. Root hairs explain P uptake efficiency of soybean genotypes grown in a P-deficient Ferralsol. *Plant and Soil*, 369:1-14, 2013.

WANG, X. R.; YAN, X.L. & LIAO, H. Genetic improvement for phosphorus efficiency in soybean: a radical approach. *Annals of Botany, London*, v. 106, p. 215-222, 2010.



**Figura 1** – Comprimento radicular na linha (a) e entre linha de cultivo de soja (b), área superficial na linha (c) e entre linha (d), e diâmetro médio de raízes de soja na linha (e) e entre linha (f), em quatro profundidades de solo, em função de doses de fósforo (0, 30, e 60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Médias seguidas pela mesma letra, para cada profundidade, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.