

45 FORMAS DE FÓSFORO NO SOLO E A ABSORÇÃO POR PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO CULTIVADO EM UM PLANOSSOLO SOBRE RESTEVA DE MILHO E SOJA

Jonas Wesz⁽¹⁾, Magali de Ávila Fortes⁽²⁾, Algenor da Silva Gomes⁽³⁾, Gerson Lübke Buss⁽²⁾, Roberto Carlos Doring Wolter⁽²⁾, Rogério Oliveira de Sousa⁽²⁾, Luis Henrique Gularte Ferreira⁽³⁾, Luciano da Silva Ossanes⁽³⁾, Antony Severo Winkler⁽²⁾

Palavras-chave: adubação fosfatada; fracionamento de fósforo; fósforo lábil.

INTRODUÇÃO

O fósforo liberado pelos fertilizantes pode apresentar-se no solo em formas de maior ou menor labilidade, ligado, principalmente, a compostos de Fe, Al, Ca e à matéria orgânica do solo (RAIJ, 1991). A redistribuição do fósforo das diversas formas fornecidas pela adubação fosfatada também ocorre em solos cultivados sob sistema plantio direto (SPD), pois se observa junto à superfície do solo um maior acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes, inclusive de fósforo (RHEINHEIMER et al., 2000).

As técnicas de fracionamento de fósforo visam a identificação das formas com que este elemento é retido no solo e sua contribuição na capacidade de suprimento de fósforo para as plantas. Várias técnicas de fracionamento de fósforo têm sido utilizadas, destacando-se, entre outros, o método de Hedley et al. (1982) modificado por Condrón et al. (1985). O método utiliza sequencialmente extratores de menor à maior força de extração, os quais removem o fósforo das formas mais disponíveis às mais estáveis.

A introdução do arroz irrigado em sistema de rotação de culturas no sistema plantio direto pode promover alterações na disponibilidade de fósforo no solo. Durante o alagamento do solo, os óxidos de ferro passam a ser considerados como fonte de fósforo para as plantas de arroz, já que bactérias anaeróbias utilizam os óxidos férricos como receptores de elétrons no processo de respiração, reduzindo-os a óxidos ferrosos, de maior solubilidade, promovendo a dessorção do fósforo (PONNAMPERUMA, 1972). Assim, formas de fósforo consideradas de baixa labilidade em solos de sequeiro podem, em condições de alagamento, suprir fósforo para as plantas de arroz (PHEAV et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a contribuição das frações de fósforo inorgânico de um Planossolo cultivado com milho e soja em sistema plantio direto, adubado com superfosfato triplo (SFT) e fosfato natural de Arad (FNA), para o arroz irrigado como cultura subsequente.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizados dois experimentos, conduzidos desde 2003 em um Planossolo Háplico eutrófico solódico na área experimental da Estação Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado. Os experimentos foram delineados com casualização por blocos e quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos em um fatorial 2 x 2 (superfosfato triplo - SFT e fosfato natural de Arad - FNA, com e sem reaplicação anual de P na forma de SFT) mais um tratamento adicional testemunha sem a aplicação da adubação fosfatada. Um dos experimentos foi conduzido com as culturas da soja no verão e azevém no inverno, e o outro com as culturas do milho no verão e azevém + trevo branco no inverno. A área de cada parcela correspondeu a 20 m².

As espécies de sequeiro foram cultivadas na mesma área por quatro anos, sendo que a implantação dos experimentos foi realizada pelo sistema convencional de cultivo e nos demais anos no sistema plantio direto. No verão do quinto ano todas as parcelas foram semeadas com arroz irrigado (cultivar Atalanta) em sistema plantio direto sobre a resteva das culturas de sequeiro.

As doses de fósforo foram estabelecidas em função da análise inicial do solo realizada antes da instalação dos experimentos. A adubação foi realizada a lanço e os adubos foram incorporados na

¹ Bolsista PIBIC-CNPq, Graduando do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas - Campus Universitário s/n, Pelotas, RS, Cx. Postal 354, CEP 96001-970. E-mail: jonaswesz@yahoo.com.br.

² Universidade Federal de Pelotas.

³ Embrapa Clima Temperado.

instalação dos experimentos. Foram aplicados quatro tratamentos de adubação fosfatada: SFT – Dose recomendada de P_2O_5 na forma de SFT (110 kg ha^{-1} para o milho e 120 kg ha^{-1} para a soja) sem e com reaplicação anual da dose inicialmente recomendada; FNA - Dose recomendada de P_2O_5 na forma de FNA (110 kg ha^{-1} para o milho e 120 kg ha^{-1} para a soja) sem e com reaplicação anual da dose inicialmente recomendada com SFT; e um tratamento adicional: Testemunha - sem aplicação de P_2O_5 .

Também foram realizadas adubações potássica e nitrogenada para o milho (100 kg ha^{-1} de KCl e 130 kg ha^{-1} de N na forma de uréia, respectivamente) e adubação potássica para a soja (90 kg ha^{-1} de KCl).

Antes do cultivo de arroz, no quinto ano dos experimentos, foram coletadas amostras de solo em três profundidades, 0 - 2,5 cm; 2,5 - 5,0 cm; e 5,0 - 15,0 cm utilizando trado calador, sendo cada amostra composta por dez subamostras por parcela.

Nas amostras de solo foi realizado o fracionamento de fósforo pelo método de Hedley et al. (1982) modificado por Condron et al. (1985). As formas de P determinadas no solo foram: P disponível extraído pela resina de troca aniônica (P_{RTA}) e P inorgânico adsorvido à superfície dos colóides (P_{NaHCO_3} - extraídos por $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 8,5); P inorgânico ligado a Fe e a Al ($P_{NaOH 0,1/0,5}$ - extraídos por $NaOH$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e $NaOH$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$); P ligado a Ca (P_{HCl} - extraído por HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$) e as formas mais estáveis de P (P_{res} - residual), determinadas por digestão com H_2SO_4 concentrado + H_2O_2 + $MgCl_2$.

No final do ciclo da cultura uma amostra de 0,50 m linear de plantas de arroz foi coletada em cada parcela, onde foi realizada a avaliação da massa de matéria seca na parte aérea (colmo, folhas e grãos), concentração de fósforo na parte aérea (colmo, folhas e grãos) (TEDESCO et al., 1995) e quantidade total acumulada de P (g m^{-2}), calculada a partir da concentração de fósforo em relação à massa de matéria seca.

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando o programa estatístico Winstat (MACHADO, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas correlações entre o fósforo acumulado na parte aérea das plantas (colmo, folhas e grãos) e a fração considerada lábil de P no solo (composta pela soma do P_{RTA} e P_{NaHCO_3}), independente da resteva presente na área (Figura 1). A labilidade da fração $NaHCO_3$ é relatada por muitos pesquisadores, indicando que os teores extraídos pela RTA não representam todo o fósforo disponível do solo (GUO e YOST; 1998; GATIBONI et al., 2005).

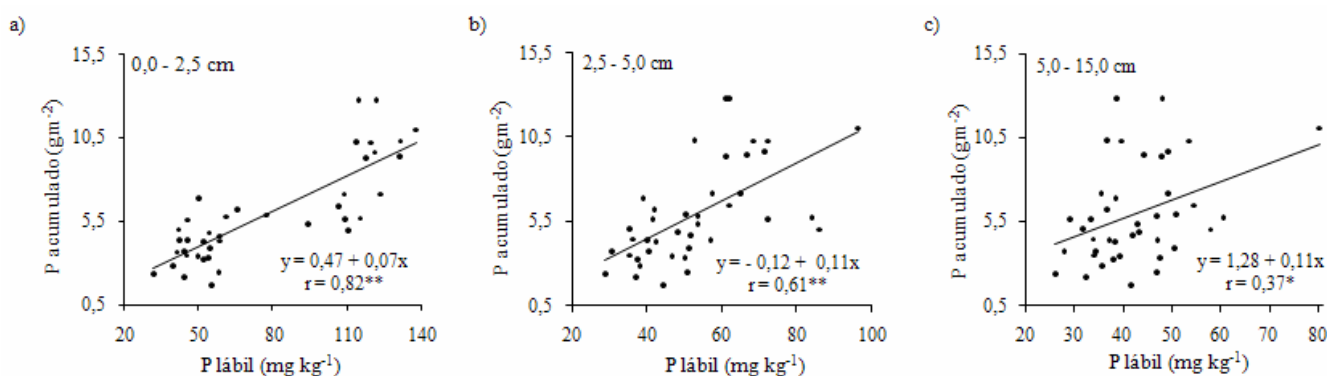


Figura 1. Correlação entre o fósforo acumulado na parte aérea das plantas (colmo, folhas e grãos) e o teor de fósforo considerado lábil em três profundidades: 0,0 - 2,5 cm (a); 2,5 - 5,0 cm (b); 5,0 - 15,0 cm (c), resultante da soma dos teores de fósforo extraídos pela resina de troca aniônica (RTA) e $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ nas áreas de resteva de milho e soja em sistema plantio direto em função da adubação fosfatada. * Significativo a $< 5\%$ de probabilidade. ** Significativo a $< 1\%$ de probabilidade.

O maior coeficiente de correlação foi observado na profundidade de 0 - 2,5 cm (Figura 1). É provável que a melhor correlação observada na camada superficial do solo seja devida ao acúmulo de fósforo na superfície, ocasionado pelo sistema plantio direto, além da deposição dos restos vegetais das culturas de sequeiro no solo. A aplicação superficial de fósforo sem o revolvimento do solo reduz o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato, diminuindo as reações de adsorção. A mineralização

lenta e gradual dos resíduos orgânicos proporciona a liberação e a redistribuição das formas orgânicas de fósforo, mais móveis no solo e menos suscetíveis às reações de adsorção (SANTOS e ANGHINONI, 2003). A maior concentração de raízes do arroz em pequenas profundidades do solo também pode ter contribuído para esta melhor correlação.

Como o maior coeficiente de correlação foi observado na profundidade de 0 - 2,5 cm (Figura 1), foram realizadas correlações entre as diferentes frações de P inorgânico para esta profundidade (Figura 2), incluindo as frações de menor labilidade (dados não apresentados). Foram observadas correlações entre o fósforo acumulado nas plantas e as frações de P no solo consideradas lábil (Figura 2a e 2b) e moderadamente lábil (Figura 2c) quando a adubação foi reaplicada anualmente. Quando não foi realizada adubação fosfatada ou quando foi realizada apenas a recomendada sem reaplicação anual de P, não foram observadas correlações entre as frações de P extraídas pelos diferentes extratores e o P acumulado nas plantas (dados não apresentados).

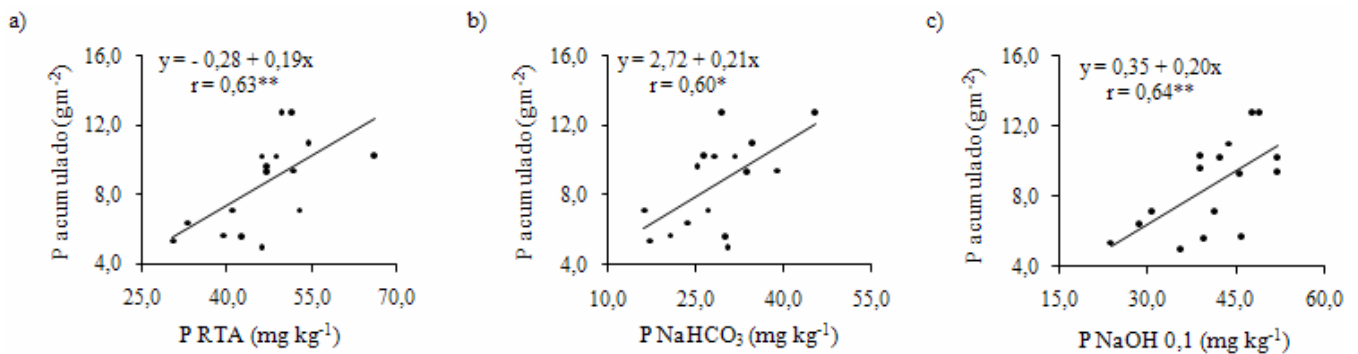


Figura 2. Correlações entre o fósforo acumulado na parte aérea das plantas (colmo, folhas e grãos) e o teor de fósforo inorgânico na camada 0 - 2,5 cm extraído por resina de troca aniônica - RTA (a), NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} (b), NaOH 0,1 mol L^{-1} (c), nas áreas de resteva de milho e soja em sistema plantio direto com reaplicação anual da adubação fosfatada.

* Significativo a < 5% de probabilidade. ** Significativo a < 1% de probabilidade.

Os coeficientes de correlação entre o P acumulado pelas plantas e as frações foram semelhantes (Figura 2), porém o maior coeficiente de correlação ($r = 0,64$) foi observado com o P extraído por NaOH 0,1 mol L^{-1} . Gonçalves (2007) observou coeficientes de correlação de 0,73 entre o P acumulado nas plantas de arroz e as frações de P extraídas por NaOH 0,1 mol L^{-1} e NaHCO_3 , e para a fração extraída pela resina de troca aniônica o coeficiente de correlação foi de 0,94. Enquanto que Mariano et al. (2002) observaram $r = 0,95$ entre o P acumulado pelo arroz e o P extraído por NaHCO_3 para um grupo de quatro solos de várzea, porém nesses dois estudos os experimentos foram realizados em vaso, o que pode justificar a melhor correlação por eles observada, pois nestes casos, a variabilidade é menor.

Correlações entre o fósforo acumulado pelas plantas de arroz e a fração de fósforo lábil e moderadamente lábil também foram observadas por Saleque et al. (2004). Pheav et al. (2005) observaram que as sucessões de cultivos de arroz diminuíram as frações consideradas lábil, moderadamente lábil e não lábil, sugerindo que, sob condições de alagamento, todas as frações de fósforo fornecem esse nutriente indiretamente ou diretamente às plantas.

No presente estudo, além das plantas absorverem as formas ditas lábeis (P_{RTA} e P_{NaHCO_3}), também houve contribuição da fração $P_{\text{NaOH } 0,1}$ que inclui o P adsorvido aos óxidos de ferro (Figura 2c). Ranno et al. (2007) realizaram o fracionamento de fósforo em onze solos de várzea submetidos à cultura de arroz irrigado e observaram que a fração predominante foi a de fósforo ligado aos óxidos de ferro, que corresponde à fração extraída com NaOH 0,1 mol L^{-1} . Como este elemento é reduzido durante o alagamento, uma fração significativa dos óxidos e dos fosfatos de ferro é solubilizada, provavelmente aumentando a disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado.

A ausência de correlação entre o P acumulado nas plantas e as demais frações (dados não apresentados), ditas não lábeis em solos oxidados, pode ter ocorrido pelo tamponamento do P na solução pelas frações lábeis e moderadamente lábeis, ou seja, as quantidades de P na solução durante o alagamento do solo foram suficientes para a absorção pelas plantas. Mariano et al. (2002) observaram coeficientes de correlação acima de 0,90 entre $P_{\text{NaOH } 0,5}$, P_{HCl} , P_{res} e o P acumulado pelas plantas em quatro solos de várzea em experimento em vaso. Em estudo realizado por Ranno et al. (2007),

utilizando o fracionamento em solos de várzea com a presença de arroz irrigado, foi observado que o teor de P ocluso diminuiu após o alagamento do solo, indicando que parte dessa fração de P participou da absorção pelas plantas.

CONCLUSÕES

A melhor correlação entre as quantidades de fósforo acumuladas na parte aérea das plantas e a fração de P considerada lábil é observada na camada superficial do solo, profundidade de 0 - 2,5 cm.

As frações de fósforo extraídas por RTA, NaHCO_3 (consideradas lábeis) e NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (considerada moderadamente lábil) apresentam correlações positivas com o fósforo acumulado na parte aérea das plantas de arroz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONDON, L.M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ^{31}P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.36, p.199-207, 1985.
- GATIBONI, L.C.; SANTOS, D.R. dos.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Phosphorus Forms and Availability Assessed by ^{31}P -NMR in Successive Cropped Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.36, p.2625-2640, 2005.
- GONÇALVES, G.K. **Formas e disponibilidade de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2007. 186f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- GUO, F.; YOST, R.S. Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of differing availability. **Soil Science**, Baltimore, v.163, p.822-833, 1998.
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.46, p.970-976, 1982.
- MACHADO, A. **Winstat - Sistema de análises estatísticas para o Windows**. Versão 1.0, Pelotas : NIA – Núcleo de Informática Aplicada, Universidade Federal de Pelotas, 2001, CD-ROM.
- MARIANO, I.O.S.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; ANDRADE, T.A. Phosphorus critical levels and availability in lowland soils cultivated with flooded rice. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, p.113-120, 2002.
- PHEAV, S.; BELL, R.W.; KIRK, G.J.D.; WHITE, P.F. Phosphorus cycling in rainfed lowland rice ecosystems on sandy soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.269, p.89-98, 2005.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972.
- RAIJ, B. Van. **Fertilidade do Solo e adubação**. Ed. Ceres. 1991. 343p.
- RANNO, S.K.; SILVA, L.S.; MALLMANN, F.J.K. Fracionamento do fósforo inorgânico em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.47-54, 2007.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.345-354, 2000.
- SALEQUE, M.A.; NAHER, U.A.; ISLAM, A.; PATHAN, A.B.M.B.U.; HOSSAIN, A.T.M.S.; MEISNER, C.A. Inorganic and organic phosphorus fertilizer effects on the phosphorus fractionation in wetland rice soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.1635-1644, 2004.
- SANTOS, D.R.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, n.15/16, p.2339-2354, 2003.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLK WEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. revista e ampliada. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, n.5).