

SEÇÃO VIII - FERTILIZANTES E CORRETIVOS DO SOLO

SOLUBILIZAÇÃO DOS FOSFATOS NATURAIS PATOS DE MINAS E ARAD EM DOIS SOLOS ALAGADOS⁽¹⁾

Gustavo Krüger Gonçalves⁽²⁾, Rogério Oliveira de Sousa⁽³⁾, Ledemar
Carlos Vahl⁽³⁾ & Leandro Bortolon⁽⁴⁾

RESUMO

Na cultura do arroz irrigado, não foram observadas diferenças significativas no rendimento de grãos em experimentos de campo que confrontaram fontes solúveis e fosfatos naturais como fontes de P. No entanto, as alterações químicas que ocorrem durante o alagamento, principalmente aumento do pH e dos teores de P e Ca na solução do solo, provavelmente dificultam a dissolução de fosfatos naturais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a solubilização dos fosfatos naturais de Patos de Minas e de Arad em dois solos alagados. Foram realizados dois experimentos, delineados em blocos ao acaso, com quatro repetições, em tipos de solos diferentes (Planossolo e Cambissolo). Foram testadas fontes de P: (a) testemunha, sem P; (b) superfosfato triplo; (c) fosfato de Patos de Minas; e (d) fosfato de Arad. Na solução do solo, foram avaliados os valores de pH e os teores de Fe, Mn, Ca, e P durante 88 dias de alagamento. O pH e os teores de Fe e Mn na solução do Planossolo e do Cambissolo não foram influenciados pela adição de superfosfato triplo e pelos fosfatos naturais de Arad e de Patos. Os teores de P na solução dos solos foram maiores com superfosfato triplo do que com os fosfatos naturais, indicando maior solubilização do primeiro durante o alagamento. Entre os fosfatos naturais, o de Arad apresentou maior solubilização do que o de Patos apenas no Planossolo.

Termos de indexação: fósforo, adubos fosfatados, solução do solo, arroz irrigado.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Recebido em janeiro de 2007 e aprovado em julho de 2008.

⁽²⁾ Professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. E-mail: gutosolos@ibest.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel. E-mail: rosousa@ufpel.tche.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo e Doutorando em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). E-mail: 00130920@ufrgs.br

SUMMARY: SOLUBILIZATION OF PATOS DE MINAS AND ARAD ROCK PHOSPHATE IN TWO FLOODED SOILS

Differences in grain yield were not observed in experiments with paddy rice when comparing soluble phosphates and rock phosphate as phosphorus sources. However, chemical changes in flooded soils such as increases in pH and phosphorus and calcium levels in the soil solution probably decrease the dissolution of rock phosphates in flooded soils. The current work was therefore carried out with the objective of studying the solubilization of phosphate rocks in flooded soils. Two experiments, conducted in a random block design with four replications, were set up in two soil types (Albaqualf and Dystrudepts). The tested factors were phosphorus sources: (a) control treatment without P; (b) triple superphosphate; (c) "Patos de Minas" rock phosphate (Patos); (d) "Arad" rock phosphate (Arad). The pH values and the Fe, Mn, Ca, Mg and P concentrations were evaluated in the soil solution during 88 days of flooding. The pH values and the Fe²⁺ and Mn²⁺ contents in the Albaqualf and Dystrudepts solution were not affected by triple superphosphate nor by Arad and Patos rock phosphate. The phosphorus content in the soil solution was higher in the treatments with triple superphosphate than in those with phosphate rock, indicating that triple superphosphate is more soluble than rock phosphates in flooded soils. The comparison of rock phosphates reveals that Arad is more soluble than Patos phosphate only in the Albaqualf.

Index terms: phosphorus, phosphate fertilizers, soil solution, irrigated rice.

INTRODUÇÃO

Os fosfatos naturais reativos têm sido utilizados como fontes alternativas de P para as plantas. Porém, dada sua baixa reatividade, precisam ser utilizados em situações especiais para que possam apresentar eficiência agrônômica semelhante às das fontes solúveis. Normalmente, a eficiência dos fosfatos naturais aumenta quando são utilizados em solos com baixo pH e que mantêm baixas concentrações de P e de Ca na solução, que aumenta sua solubilidade (Kaminski & Peruzzo, 1997).

Na cultura do arroz irrigado por alagamento, os experimentos de campo realizados na Região Sul do Brasil não demonstraram diferenças significativas de rendimento de grãos do arroz entre fontes solúveis de P e fosfatos naturais (Patella, 1965; Sherer & Bacha, 1972; Sherer et al., 1974; Bacha et al., 1977; Lopes et al., 1983; Gomes et al., 2005). Baseados nos resultados desses experimentos, as recomendações técnicas do arroz para o sul do Brasil (SOSBAI, 2005) preconizam que os fosfatos naturais reativos sejam utilizados em solos com teores de P superiores a 3 mg kg⁻¹, pelo extrator Mehlich-1. É provável que a ausência de diferenças significativas entre fontes solúveis e fosfatos naturais naqueles experimentos seja explicada, ao menos em parte, pela baixa resposta do arroz à adubação fosfatada. Segundo Vahl (1999), o arroz consegue absorver P em concentrações mais baixas do elemento na solução do solo do que a maioria das culturas de sequeiro. Além disso, o alagamento aumenta a disponibilidade de P para as plantas, pelo aumento da concentração e difusão do elemento na solução do solo.

O P não está envolvido diretamente nas reações de oxirredução em solos alagados, mas, devido a sua reatividade com compostos passíveis de redução, seu comportamento é afetado pelo alagamento. Ranno (2004) verificou que, em solos ácidos do Estado do Rio Grande do Sul, os fosfatos ocorrem predominantemente associados ao Fe. Dessa forma, a química dos fosfatos em solos alagados está relacionada à química do Fe, ou seja, as condições que aumentam a solubilidade do Fe no solo normalmente aumentam a solubilidade do P (Ponnamperuma, 1972). Desse modo, a solubilidade do P aumenta com o alagamento devido à redução de fosfatos férricos para ferrosos, à liberação do fosfato retido por ligação química específica, ao deslocamento do fosfato adsorvido à superfície de argilominerais e de óxidos por ânions orgânicos e HCO₃⁻, e à hidrólise dos fosfatos de Fe e de Al (Vahl, 1999).

A capacidade de adsorção de P pelo solo exerce influência no aumento de sua concentração na solução após o alagamento. Silva (1996) observou que, em solos com baixa capacidade de adsorção de P, a concentração do elemento na solução do solo após o alagamento foi, em média, 44 vezes maior que a concentração antes do alagamento, enquanto em solos com alta capacidade de adsorção o aumento médio foi de apenas 3,5 vezes. Solos com capacidade de adsorção intermediária apresentaram aumento de 15,5 vezes nos teores de P na solução do solo após o alagamento.

Além de aumentar a concentração de P em solução do solo, o alagamento promove o aumento de pH e dos teores de Ca (Ponnamperuma, 1972; Sousa et al., 2002). O aumento de pH ocorre em decorrência das reações de oxirredução que se processam com consumo de íons H⁺, ao passo que o aumento dos teores de Ca

na solução ocorre pelo deslocamento das formas trocáveis do elemento por NH_4^+ , Mn^{2+} e Fe^{2+} (Vahl, 1999; Sousa et al., 2002). Vahl (1991) observou aumento nos teores de Ca na solução de solos alagados, variando entre 1,3 e 8 vezes observados nos mesmos tipos de solos em sequeiro.

As alterações químicas do solo alagado, como aumento do pH e das concentrações de Ca e P na solução do solo, provavelmente dificultam a solubilização dos fosfatos naturais, o que pode diminuir a eficiência agrônômica dessas fontes para o arroz em relação à eficiência que poderiam apresentar nos mesmos solos em sequeiro. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar a solubilização dos fosfatos naturais de Arad e de Patos de Minas em dois solos alagados.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da UFPEL, utilizando-se amostras superficiais (0-20 cm) de um Planossolo Háptico eutrófico solódico e um Cambissolo Háptico Ta distrófico (Embrapa, 2006). Os principais atributos químicos e físicos das amostras (Quadro 1), foram caracterizados conforme os métodos descritos em Tedesco et al. (1995): argila pelo método da pipeta; matéria orgânica pelo método de Walkley-Black; P, K e Na extraídos com Mehlich-1; H + Al extraído com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 7 e determinado por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$; Ca e Mg

extraídos com KCl 1 mol L^{-1} ; Fe e Mn extraídos com oxalato de amônio em pH 3.

Os experimentos foram realizados em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, onde foram testados três fontes de P: a) testemunha, sem P; b) superfosfato triplo (SFT); c) fosfato de Patos de Minas (Patos); e d) fosfato de Arad (Arad). Os solos foram escolhidos por causa das diferenças em relação à capacidade de adsorção de P. Segundo análises realizadas por Silva (1996), o Planossolo apresenta baixa capacidade de adsorção de P (140 mg kg^{-1}) e o Cambissolo alta (420 mg kg^{-1}). As fontes de P foram escolhidas em função das diferenças nos teores de P solúveis em ácido cítrico (Quadro 2).

Amostras dos solos previamente secas e passadas em peneira de 8 mm (7,5 kg) foram misturadas separadamente com 0,810 g de superfosfato triplo, 1,500 g de fosfato de Patos e 1,136 g de fosfato de Arad, de modo que o teor total de P das misturas correspondesse a 50 mg kg^{-1} de P_2O_5 . As misturas foram acondicionadas em vasos plásticos ao mesmo tempo em que foi acomodado o sistema de coleta da solução do solo, conforme descrito em Sousa et al. (2002), de modo que ficasse na profundidade de 10 cm. O sistema empregado para coletar a solução do solo consistiu de um tubo de polietileno perfurado, com 70 cm de comprimento, revestido com tela de nylon e dobrado em forma de espiral. A espiral foi conectada a um tubo de vidro na forma de sifão, projetado para fora do vaso, conectado a uma célula eletrométrica em vidro onde foi instalado um eletrodo de pH. Em seguida, adicionou-se água aos vasos de modo a elevar o grau da umidade gravimétrica a 18 %. Após 10 dias, o solo foi alagado, e realizaram-se, a seguir, coletas

Quadro 1. Atributos químicos e físicos do Planossolo e Cambissolo

Solo	Argila	MO	pH H ₂ O	P	K	Na	H + Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	pH 7	Fe _o ⁽¹⁾	Mn _o ⁽¹⁾
	— g kg ⁻¹ —			— mg dm ⁻³ —				— cmol _c dm ⁻³ —				— g dm ⁻³ —	
Planossolo	240	19,4	4,8	5,8	52	40	4,0	3,6	1,3	9,3		1,1	0,1
Cambissolo	210	24,5	4,3	6,6	92	5	5,0	6,0	3,0	14,3		3,3	0,8

⁽¹⁾ Extraídos com oxalato de amônio à pH 3.

Quadro 2. Composição básica dos fosfatos utilizados no experimento

Fosfatos	P ₂ O ₅ total ⁽¹⁾	P ₂ O ₅ em ácido cítrico	Cálcio
	— g kg ⁻¹ —		
SFT ⁽²⁾	460	455	150
Patos	250	56	229
Arad	330	104	372

⁽¹⁾ Extraído com os ácidos nítrico e clorídrico concentrados e analisado por espectrofotometria. ⁽²⁾ SFT: superfosfato triplo.

períodos de alagamento. No Planossolo, o fosfato de Arad promoveu maior concentração de P na solução que o fosfato de Patos apenas após 28 dias de alagamento. A maior solubilização do Arad em relação ao Patos observada no Planossolo ocorreu, provavelmente, em razão do maior grau de substituições isomórficas do fosfato por carbonato, resultando em um cristal imperfeito, poroso e com baixa energia entrópica, podendo ser facilmente hidrolisado (Kaminski & Peruzzo, 1997). Smyth & Sanchez (1982) verificaram que a relação molar CO_3/PO_4 no fosfato natural de Arad é de 0,26, enquanto no fosfato de Patos de Minas é de 0,02.

Os teores de P na solução dos solos demonstraram que, de modo geral, o superfosfato triplo foi mais solúvel que o Arad, e esse mais solúvel que o Patos, embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas em todos os períodos de alagamento. Essa afirmativa é reforçada pelos resultados apresentados no quadro em que os teores de P disponíveis pela resina foram maiores com o superfosfato triplo, e os obtidos com o Arad foram maiores do que os observados no

Quadro 5. Teores de fósforo disponíveis extraídos com a resina de troca aniônica antes do alagamento em resposta às fontes de fósforo, nos solos: Planossolo e Cambissolo

Solo	Fonte de P			
	Testemunha	SFT ⁽¹⁾	Patos	Arad
	P, mg dm ⁻³			
Planossolo	9,1 c	15,3 a	9,3 c	11,2 b
Cambissolo	13,8 c	21,2 a	15,1 c	18,4 b

⁽¹⁾ SFT: superfosfato triplo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Duncan, 5 %).

Patos, que não diferiram da testemunha sem adubação. Além das características intrínsecas a cada fonte de P, as condições químicas que ocorrem durante o alagamento dificultam a dissolução dos fosfatos naturais, pois, segundo Novais & Smyth (1999), esses necessitam de pH baixo e de teores de P e Ca também baixos na solução do solo.

As baixas concentrações de P na solução do Cambissolo favorecem a dissolução dos fosfatos naturais. No entanto, essas baixas concentrações também evidenciam a alta capacidade de adsorção de P desse solo, o que pode dificultar a absorção de P pelas plantas. Tomando como referência os valores de Cmin (concentração mínima de um íon na solução que permite absorção líquida) e Km (concentração do nutriente na solução que proporciona metade da velocidade máxima de absorção desse nutriente) médios para arroz (1,2 e 5,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente), determinados por Anghinoni et al., (1989), verifica-se que os teores de P na solução do Cambissolo estiveram abaixo do Km em praticamente todo o período de alagamento, em todos os tratamentos, e abaixo do Cmin no testemunha e no fosfato de Patos (Quadro 6). No Planossolo, embora a capacidade de adsorção de P seja menor que no Cambissolo, os teores de P foram abaixo do Km nos tratamentos testemunha e fosfato de Patos. Logo, os fosfatos naturais mantêm concentrações de P na solução, que podem ser insuficientes para garantir uma taxa de absorção adequada para as plantas.

Em solos com alta capacidade de adsorção de P e alta CTC, dreno-P e dreno-Ca favorecem a dissolução dos fosfatos naturais, mas a forte adsorção do P nesses solos pode limitar a absorção pelas plantas (Novais & Smyth, 1999). Assim, é provável que a recomendação da adubação fosfatada para o arroz não seja a mesma para solos com diferentes capacidades de adsorção de P, mesmo que os teores de P extraídos com Mehlich-1 sejam semelhantes, como ocorreu com o Planossolo e o Cambissolo, que apresentaram 5,8 e 6,6 mg kg^{-1} de P (Quadro 1). Uma maneira de avançar os estudos

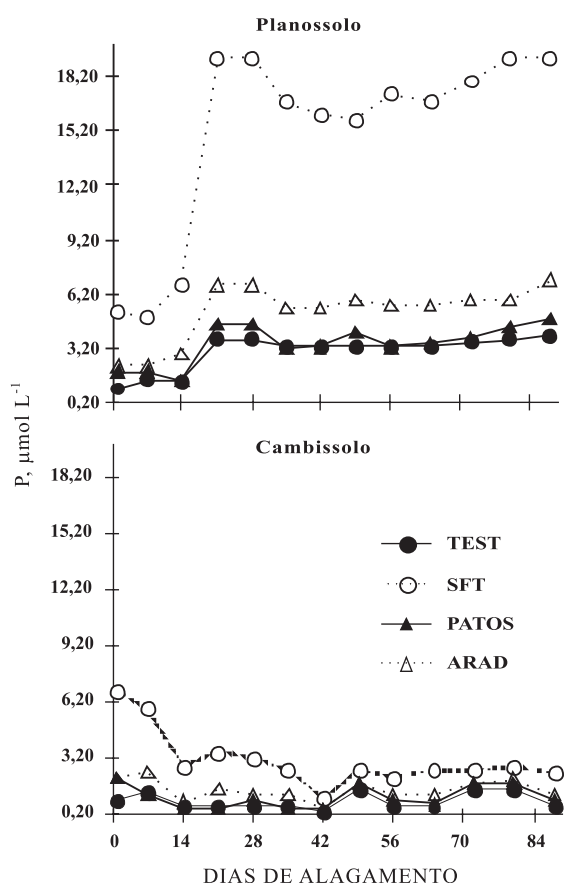


Figura 1. Concentrações de P na solução de dois solos alagados, em função de três fontes de P. TEST: testemunha; SFT: superfosfato triplo; PATOS: fosfato natural de Patos de Minas; ARAD: fosfato natural de Arad.

Quadro 6. Concentrações de fósforo na solução de dois solos alagados em resposta à três fontes de fósforo

Período de alagamento	Fonte de fósforo			
	Testemunha	SFT ⁽¹⁾	Patos	Arad
			P, $\mu\text{mol L}^{-1}$	
			Planossolo	
1° dia	0,96 b	5,16 a	1,93 b	2,25 b
28° dia	3,87 c	19,35 a	4,51 c	6,77 b
Média de 35 a 88 dias	3,22 c	17,74 a	3,87 c	6,12 b
			Cambissolo	
1° dia	0,96 c	6,77 a	2,25 b	2,25 b
28° dia	0,65 b	3,22 a	0,96 b	1,29 b
Média de 35 a 88 dias	0,65 c	2,25 a	0,96 bc	1,29 b

⁽¹⁾ SFT: superfosfato triplo. Médias seguidas pela mesma letra na linha, em cada época de amostragem e solo, não diferem entre si (Duncan, 5 %).

nesta linha seria a realização de novos experimentos com plantas de arroz crescendo em solos com diferentes capacidades de adsorção de P.

CONCLUSÕES

1. Os valores de pH e os teores de Fe^{2+} e Mn^{2+} na solução do Planossolo e do Cambissolo com alagamento não foram alterados pela aplicação de superfosfato triplo e dos fosfatos naturais de Arad e de Patos de Minas.

2. O alagamento promoveu aumento nas concentrações de P na solução do Planossolo, proporcional à solubilidade das fontes de P aplicadas.

3. As concentrações de P na solução do Cambissolo que recebem superfosfato triplo e fosfatos naturais de Patos de Minas e de Arad diminuíram com o alagamento

4. O superfosfato triplo apresentou maior solubilização do que os fosfatos naturais de Arad e de Patos durante o alagamento do Planossolo e do Cambissolo.

5. O fosfato natural de Arad apresentou maior solubilização que o fosfato natural de Patos de Minas durante o alagamento do Planossolo.

LITERATURA CITADA

ANGHINONI, I.; VOLKART, C.R.; FATORRE, N. & ERNANI, P.R. Morfologia de raízes e cinética de absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. R. Bras. Ci. Solo, 13:355-361, 1989.

BACHA, R.E.; OLIVEIRA, M.A.; SHERER, C.H. & WOLKSWEISS, S.J. Eficiência de fosfatos naturais em arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ, 7., Porto Alegre, 1977. Anais. Pelotas, Instituto Rio Grandense do Arroz – UEPAE, 1977. p.1-5.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GOMES, A.S.; FERREIRA, L.H. & SCIVITTARO W.B. Uso do fosfato natural em arroz irrigado cultivado no sistema convencional, em uma mesma área, durante três áreas consecutivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4.; REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 26., Santa Maria, 2005. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. CD-ROM.

KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)

LOPES, M.S.; BACHA, R.E. & CABRAL, J.T. Efeito da substituição gradativa de fosfato solúvel por fosfato natural sobre o rendimento de grãos de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ, 12., Pelotas, 1983. Anais. Porto Alegre, Instituto Rio Grandense do Arroz – UPEAE, 1983. p.133-135.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PATELLA, J.F. Arroz: Adubação fosfatada em solos alagados. Agrisul, 20:14-15, 1965.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 24:29-96, 1972.

RANNO, S.K. Estimativa da disponibilidade de fósforo para a cultura do arroz irrigado em solos do RS. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 139p. (Tese de Mestrado)

- SHERER, C.H. & BACHA, R.E. Eficiência de fosfatos naturais na cultura do arroz irrigado. In: REUNIÃO GERAL DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 2., Cachoeirinha, 1972. Anais. Porto Alegre, Instituto Rio Grandense do Arroz – IPEAS, 1972. p.71-72.
- SHERER, C.H.; BACHA, R.E. & OLIVEIRA, M.A. Eficiência dos fosfatos em arroz irrigado. In: REUNIÃO GERAL DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 4., Pelotas, 1974. Anais. Porto Alegre, Instituto Rio Grandense do Arroz - IPEAS, 1974. p.84-86.
- SILVA, R.J. Metodologia de avaliação da disponibilidade de fósforo em solos alagados. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1996. 65p. (Tese de Mestrado).
- SMYTH, T.J. & SANCHEZ, P.A. Phosphate rock dissolution and availability in cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:339-345, 1982.
- SOSBAI. Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Santa Maria, 2005. 159p.
- SOUSA, R.O.; BOHNEN, H. & MEURER, E.J. Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta. R. Bras. Ci. Solo, 26:343-348, 2002.
- VAHL, L.C. Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por alagamento. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 173p. (Tese de Doutorado)
- VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S. & PAULETTO, E.A., eds. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 1999. p.119-161.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)