

**Leandro Bortolon<sup>1\*</sup>, Elisandra Solange Oliveira Bortolon<sup>1</sup>, Gustavo Kruger Gonçalves<sup>2</sup>, Rogério Oliveira de Sousa<sup>3</sup>, Jairo André Schlindwein<sup>4</sup>.**

## **Efficiency of phosphate rock to southern Brazil lowland rice soil**

### **ABSTRACT**

*Phosphate rock efficiency to lowland rice was evaluated in a study that we tested: a) phosphorus sources (P): 1-triple superphosphate (TSP); 2-Phosphate rock (PR); and b) phosphorus rates: 0, 10, 20, 40 and 80 mg kg<sup>-1</sup>. Rice variety EMBRAPA 7 "TAIM", was grown in a pot for thirty days. Soil solution pH values were similar between rates for the same source; however, the PR was superior to TSP in both soil solution sampling. The P concentrations in solution increased according to P rates. P amounts in the second soil solution sampling were similar between rates of the same source, but the differences were observed at P (TST) rate of 80 mg kg<sup>-1</sup>. Shoot dry matter increased with P rate and the 80 mg kg<sup>-1</sup> P rate was superior in both sources. However, the TSP was superior to PR and this tendency was similar with the P in plant tissue and P uptake by plants. P in soil solution, P plant content, P uptake by plants and rice growth increased according to P applied in soil; PR showed high agronomic efficiency at rates over 40 mg kg<sup>-1</sup> de P.*

**Key-words:** Phosphorus, reduction, uptake.

## **Eficiência do fosfato natural para o arroz irrigado em solo do sul do Brasil**

### **RESUMO**

Com o objetivo de avaliar a eficiência do fosfato natural na cultura do arroz irrigado, foi desenvolvido um experimento onde testou-se: a) fontes de fósforo(P) : 1- Superfosfato triplo (SFT); 2- Fosfato natural (FN); e b) Doses de P: 0, 10, 20, 40 e 80 mg kg<sup>-1</sup>. Arroz da cultivar EMBRAPA 7 "TAIM", foram cultivadas em vasos durante trinta dias. O pH na solução do solo não diferiu entre as doses na mesma fonte. O P na solução aumentou com o acréscimo das doses de P, porém na primeira coleta não diferiu entre as fontes. Na segunda coleta os teores de P foram similares nas diferentes doses para a mesma fonte, diferindo apenas no SFT na dose de 80 mg kg<sup>-1</sup>. A produção de matéria seca aumentou conforme a dose de P sendo que a dose de 80 mg kg<sup>-1</sup> foi superior nas duas fontes. Os teores de P na solução do solo e na planta, a quantidade acumulada de P e a produção de matéria seca do arroz, aumentaram com o acréscimo das doses de P aplicadas ao solo; o fosfato natural apresentou alta eficiência agrônômica a partir de doses equivalentes à 40 mg kg<sup>-1</sup> de P.

**Palavras-chave:** Fósforo, redução, absorção.

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup>EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa em Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas; Palmas – TO; Brasil. leandro.bortolon@embrapa.br.

<sup>2</sup>UERGS – Departamento de Solos, 90010-191; Uruguaiana – RS – Brasil.

<sup>3</sup>UFPEL – Departamento de Solos, 96160-000; Pelotas – RS – Brasil.

<sup>4</sup>UNIR - Departamento de Agronomia; 78987-000; Porto Velho–RO – Brasil.

## INTRODUÇÃO

As fontes de fósforo mais usadas na agricultura brasileira são os fosfatos solúveis em água, como os superfosfatos simples e triplo, monoamônio fosfato e diamônio fosfato. Devido à incorporação de novas áreas à agricultura brasileira, à baixa disponibilidade de fósforo nesses solos e a existência no Brasil de diversas jazidas de fosfatos, uma opção é o uso de fosfatos naturais. Os fosfatos naturais são minérios apenas moídos e concentrados e devido ao menor processamento industrial, apresentam custos de fabricação mais baixos (Novais et al., 2007).

Os fosfatos naturais brasileiros apresentam, em relação ao superfosfato triplo, uma eficiência inicial baixa. Já os importados, são em geral mais eficientes 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. Smyth e Sanchez (1982) verificaram que a relação molar  $\text{CO}_3/\text{PO}_4$  no fosfato natural de Arad (importado) é de 0,26, enquanto no fosfato de Patos de Minas (nacional) é de 0,02. O fosfato natural de Gafsa chega a ter eficiência igual a do superfosfato, quando incorporado ao solo, contudo, é bem menos eficiente quando aplicado em forma localizada. Algumas características do solo podem afetar a disponibilidade do fósforo. Um dos fatores mais importantes é a acidez. O fósforo nativo, ou aquele aplicado com fosfatos solúveis, possui maior disponibilidade com valores de pH em torno de 6. Para os fosfatos naturais, o aumento do pH, diminui a dissolução (Novais et al., 2007).

Na cultura do arroz irrigado, com o alagamento do solo, ocorre alterações químicas no solo, como aumento do pH e dos teores de fósforo e cálcio na solução do solo. Essas alterações são contrárias a dissolução dos fosfatos naturais e provavelmente diminuem a sua solubilidade. Além disso, mostra resposta muito baixa a adubação fosfatada, mesmo em solos nos quais culturas de sequeiro respondem a altas doses do elemento. Isto é consequência de, pelo menos, dois aspectos importantes como: o arroz consegue absorver fósforo em concentrações mais baixas do elemento na solução do solo do que a maioria das culturas de sequeiro; e o alagamento do solo aumenta a disponibilidade do fósforo para a planta, tanto pelo aumento da concentração de fósforo na solução do solo como pela maior facilidade de difusão do fósforo na solução, devido à maior quantidade de água no solo alagado

(Vahl, 1999). Além disso, os experimentos de campo realizados na Região Sul do Brasil com resposta do arroz irrigado por alagamento ao P não demonstraram diferenças significativas de rendimento de grãos do arroz entre fontes solúveis de P e fosfatos naturais (Gonçalves et al., 2008). 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  $3 \text{ mg kg}^{-1}$ , pelo extrator Mehlich-1. Desta forma está se propondo o presente estudo, objetivando avaliar a eficiência do fosfato natural em um Planossolo alagado cultivado com arroz irrigado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, constituído por um fatorial  $2 \times 5$ , delineado em blocos ao acaso, com 3 repetições, onde foram testados os seguintes fatores: a) fonte de fósforo (super fosfato triplo - SFT e fosfato natural Daoui - FN); e b) doses de P (0, 10, 20, 40, 80  $\text{mg kg}^{-1}$ ). As doses escolhidas foram baseadas nas recomendações de adubação para a cultura do arroz irrigado para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, sendo a menor dose utilizada condizente com a menor dose recomendada, e a maior dose utilizada correspondente ao dobro da maior dose recomendada (Sosbai, 2005).

Foi coletada amostra de um Planossolo Háptico Eutrófico Solódico (unidade de mapeamento: Pelotas; argila:  $240 \text{ dag dm}^{-3}$ ) na camada superficial de 0 a 20 cm, e exposta ao ar, destorroada e passada em peneira de 10 mm. Uma subamostra foi retirada e passada em peneira de 2 mm, onde realizou-se análise para caracterização química do solo (Tedesco et al., 1995), apresentando os seguintes valores: pH, 4,8; matéria orgânica ( $\text{dag dm}^{-3}$ ) 1,9; P disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) 5,8; K disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) 52; H+Al ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) 4,0; Ca ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) 3,6; Mg trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) 1,3; CTC ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) 9,3. A amostra do solo, depois de peneirada, foi colocada 7 kg de solo em vasos plásticos de  $8 \text{ dm}^3$ .

Os fosfatos foram moídos e passados em peneira de 1 mm, para uniformizar o tamanho de partícula, para que não representasse uma causa de variação a mais que possa interferir na eficiência. Os tratamentos foram aplicados individualmente em cada vaso, misturando-se uniformemente nos 7 kg de solo. À medida que as amostras de solo foram

colocadas nos vasos, após a mistura dos fosfatos, acomodou-se os sistemas de coleta de solução do solo, desenvolvida por Sousa et al. (2002) de modo que ficasse a uma profundidade de 10 cm. Em seguida foi colocada uma quantidade de água, suficiente para atingir 18% de umidade gravimétrica. Após 30 dias o solo contido nos vasos foi alagado, permanecendo 77 dias nessa condição, onde foi feita uma coleta da solução do solo no primeiro dia e aos 76 dias após o alagamento. No dia seguinte aos 76 dias foram colocadas, em cada vaso, cinco sementes pré-germinadas de arroz da cultivar Taim e posteriormente foi realizado desbaste, mantendo-se três plantas e cultivadas por um período de 30 dias, com uma lâmina de água de 5 cm. Ao final da colheita das plantas foi realizada a terceira coleta da solução do solo (120 dias após o alagamento). Foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio ( $150 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e potássio ( $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em duas aplicações.

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. As análises do valor de pH da solução do solo foram feitas por meios de eletrodos específicos, combinados, ligados a um potenciômetro e previamente instalados em uma célula eletrométrica, construída em vidro, semelhante a utilizada por Sousa et al. (2002). Como a célula permanecia cheia de solução durante as leituras, foi possível minimizar o contato desta com oxigênio molecular, diminuindo

os riscos de alteração das suas características eletroquímicas. Após as determinações eletroquímicas transferiram-se aproximadamente 10 mL de solução da célula diretamente para frascos de vidro, onde havia sido colocado previamente 1 mL de HCl  $1,1 \text{ mol L}^{-1}$ , para que a concentração final de HCl da amostra ficasse em torno de  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , possibilitando desta maneira a análise da composição química das amostras em laboratório.

Nas amostras da solução do solo, em cada dose, foi avaliado ainda o teor de P (colorimetria), Ca e Fe (absorção atômica). Na planta foram avaliadas a massa seca da parte aérea e o teor de fósforo segundo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Os índices de eficiência agrônômica (IEA) foram calculados a partir do P acumulado na parte aérea e da produção de massa seca da parte aérea, através da fórmula:  $\text{IEA} = (\text{FN} - \text{Testemunha}) / \text{SFT} - \text{Testemunha} \times 100$  (Novais et al. 2007). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a um nível de 5% de probabilidade e o estudo das doses de P empregou-se a regressão polinomial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH da solução do solo aumentaram com o alagamento, com valores próximos a 6,0 (Tabela 1). Esse aumento é característico dos solos alagados, devido às reações de oxirredução consumirem hidrogênio (Ponnamperuma, 1972; Sousa et al., 2002). Os valores de pH da solução do solo não diferiram entre as fontes de P (Tabela 1), conforme também observado por Gonçalves et al. (2008).

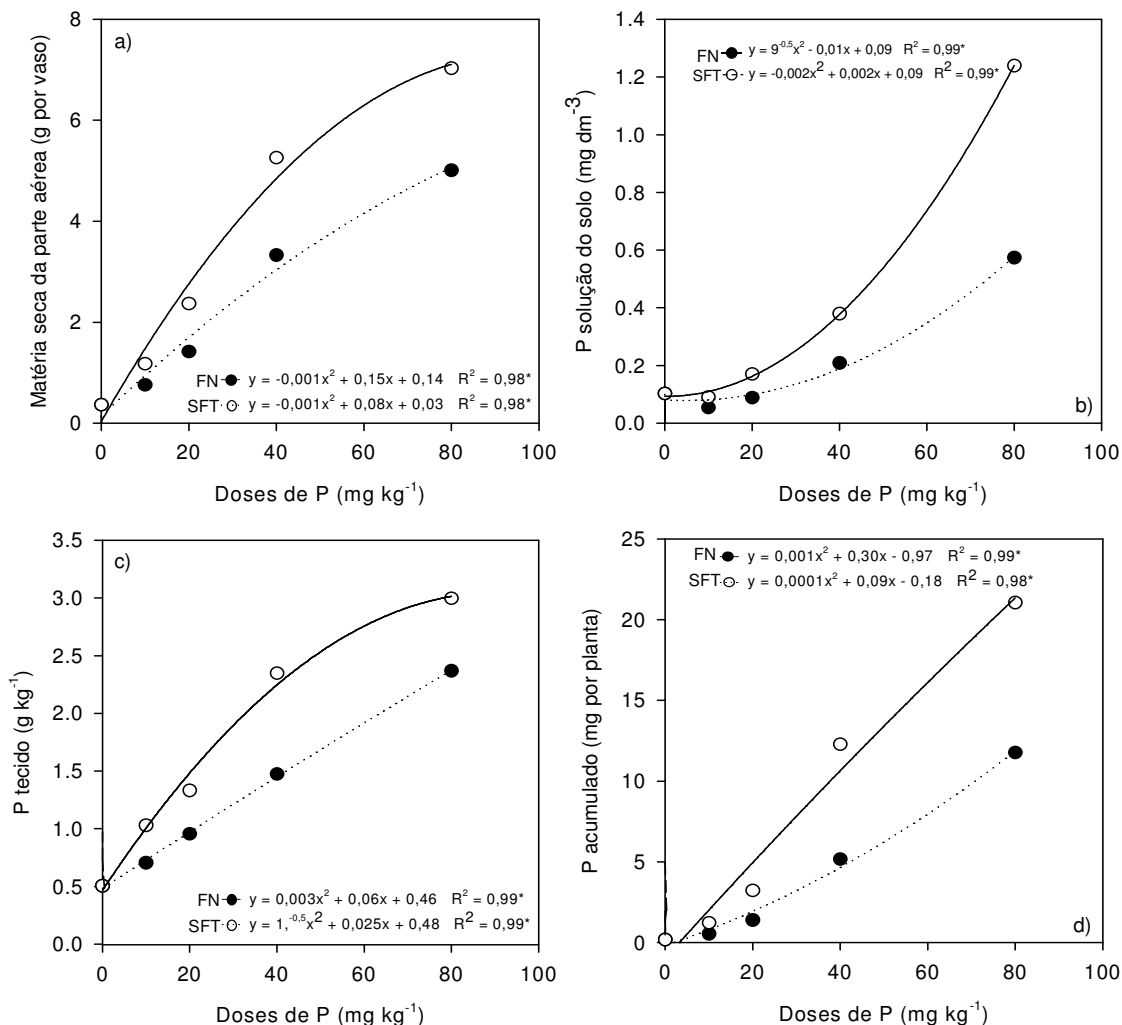
**Tabela 1.** Valores de pH e teores de fósforo, cálcio, ferro e magnésio, na solução de um Planossolo, em função de doses de diferentes fontes de fósforo.

DAA <sup>1</sup>	Fosfato natural						Superfosfato triplo					
	Dose de P (mg kg <sup>-1</sup> )						Dose de P (mg kg <sup>-1</sup> )					
	0	10	20	40	80	Média	0	10	20	40	80	Média
-----pH-----												
1	4,7	4,6	4,8	4,7	4,8	4,74 aB	4,8	4,7	4,7	4,7	4,6	4,71 aB
76	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	5,82 aA	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,75 bA
120	5,8	5,8	5,8	5,9	5,8	5,83 aA	5,8	5,8	5,7	5,7	5,6	5,72 bA
Média	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,45	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3	5,39
----- P (mg dm <sup>-3</sup> ) -----												
1	0,15	0,22	0,17	0,15	0,11	0,16 aB	0,17	0,13	0,18	0,21	0,14	0,17 aB
76	0,19	0,19	0,13	0,25	0,86	0,32 bA	0,19	0,11	0,21	0,47	1,34	0,46 aA
120	0,02	0,02	0,05	0,17	0,26	0,10 bB	0,02	0,08	0,14	0,29	1,14	0,33 aA
Média	0,12	0,14	0,12	0,19	0,41	0,20	0,13	0,10	0,17	0,32	0,87	0,32
----- Ca (mg dm <sup>-3</sup> ) -----												
1	3,2	3,6	3,8	4,1	2,5	3,4 B	3,5	4,6	4,4	3,7	4,1	4,1 B
76	9,7	12,1	11,8	15,2	17,5	13,3 A	9,7	10,2	8,8	10,9	13,7	10,7 A
120	10,1	13,4	14,2	17,3	21,3	15,3 A	9,7	10	11,8	15,2	21,6	13,7 A
Média	7,7	9,7	9,9	12,2	13,8	10,7	7,6	8,3	8,3	9,9	13,1	9,4
----- Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) -----												
1	32	35	37	39	45	38 B	37	39	30	27	33	33 B
76	143	162	143	142	148	148 A	143	97	130	131	142	129 A
120	147	160	135	140	128	142 A	149	108	133	137	144	134 A
Média	107	119	105	107	107	109	110	81	98	98	106	99

<sup>1</sup> - Dias após o alagamento. Médias seguidas de letras distintas (maiúscula na coluna e minúscula na linha) diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5%.

Apesar de não haver diferenças significativas, os menores valores obtidos para o SFT se deve, provavelmente, pela reação do SFT no solo, que durante a dissolução novos produtos são formados e mantêm uma solução saturada em P em torno da região de dissolução do grânulo, o que faz diminuir o pH do solo em torno ao grânulo. A diminuição do pH é proporcional a concentração de P e a solubilidade do adubo. Como a dissolução do FN normalmente é menor, o pH poderá não se alterar de forma significativa (Kaminski e Peruzzo, 1997).

Os teores de P na solução do solo, a massa seca da parte aérea das plantas, o teor de P no tecido e a quantidade total de P acumulado foram maiores com o SFT (Tabela 1 e Figura 1), independente das doses. O SFT disponibilizou maiores quantidades de P para as plantas, que responderam com maior absorção do elemento e maior crescimento. Gonçalves et al. (2008), observou que o SFT apresenta maior solubilização do que os FNs em solos alagados, aumentando os teores de P na solução do solo.



**Figura 1-** Produção de massa de matéria seca de arroz após 30 dias de cultivo (a); teores de fósforo na solução de um Planossolo (b); teores de fósforo no tecido em plantas de arroz após 30 dias de cultivo (c); fósforo acumulado por plantas de arroz após 30 dias de cultivo (d) em função de duas fontes (fosfato natural e super fosfato triplo) e cinco doses de fósforo aplicadas ao solo.

Os teores de P na solução do solo, a massa seca da parte aérea das plantas, o teor de P no tecido e a quantidade total de P acumulado aumentaram com a adição de doses crescentes dos adubos fosfatados, até a quantidade máxima de 80 mg kg<sup>-1</sup> de P (Figura 1). Os valores observados com o SFT foram superiores aos obtidos com o FN, embora não tenham ocorrido diferenças estatísticas em todas as doses.

Os teores de Fe na solução do solo aumentaram com o alagamento, mas sem diferenças entre as doses e fontes de P. O aumento do Fe na solução do solo se deve à redução das formas de Fe<sup>3+</sup>, pouco solúveis, para Fe<sup>2+</sup>, de maior solubilidade (Ponnamperuma 1972). A forma de Fe em solos alagados é importante em estudos com P, pois a

cinética de liberação desse elemento para a solução do solo é relacionada com as condições que favorecem a redução do Fe (Ponnamperuma, 1972). Desta maneira, possíveis diferenças nos teores de P na solução dos solos não podem ser explicadas pela redução do Fe, quando foram feitas comparações entre as fontes em uma mesma época de alagamento.

Os teores de Ca na solução do solo aumentaram com o tempo de alagamento, porém após 76 dias a tendência foi de estabilização (Tabela 1). Embora o Ca não esteja diretamente envolvido nas reações de oxirredução do solo alagado, uma fração do Ca trocável é deslocada para a solução do solo pelo Fe<sup>2+</sup> e, ou, Mn<sup>2+</sup> (Ponnamperuma, 1972; Sousa et al., 2002). As diferenças entre os teores de Ca não

foram significativas em todo o período de alagamento e entre as fontes, diferindo somente dentro das doses. O SFT, apesar de ter os menores teores de Ca, liberou maior quantidade de Ca para a solução, provavelmente devido à sua maior solubilidade. Apesar de ser menos solúvel que o SFT, o FN proporcionou concentrações elevadas de Ca na solução por ter o maior teor deste elemento em relação ao SFT (Ca: FN 372 g kg<sup>-1</sup>; SFT 150 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 1).

O índice de eficiência agrônômica (IEA) do FN aumentou com o aumento da quantidade de P

adicionada ao solo (Tabela 2), atingindo um valor máximo de 70%, quando calculado a partir da produção de massa seca pelas plantas; isto pode ter acontecido porque nas doses baixas de fósforo, o peso de matéria seca com SFT também foi baixo, e muito semelhante à observada com o FN (Figura 1). Pelo modelo linear demonstrado na Tabela 2, pode-se inferir que não houve estabilização na cinética de dissolução do fosfato natural, mesmo em dose equivalente ao dobro da máxima recomendada para o arroz irrigado.

**Tabela 2.** Índice de eficiência agrônômica do fosfato natural em diferentes doses, em relação à quantidade de fósforo acumulado e a produção de massa seca de arroz após cultivado por 30 dias em um Planossolo alagado.

Doses de P (mg kg <sup>-1</sup> )	IEA (%)	
	P acumulado	Massa seca
10	35	48
20	40	52
40	41	60
80	55	70
Modelo	$Y = 0,31x + 45,8$ $R^2 = 0,98^{**}$	$Y = 0,27x + 32,6$ $R^2 = 0,95^{**}$

Os pontos de máxima para a massa de matéria seca foi definido correspondente à dose de 60 mg kg<sup>-1</sup> de P para ambas as fontes, representando a produção de 6,3 e 4,2 g por vaso de massa de matéria seca para o SFT e FN, respectivamente. Para essa massa de matéria seca, correspondeu aos valores de P na solução para o SFT e FN de 0,75 e 0,35 mg dm<sup>-3</sup> e teor de P na planta de 2,75 e 1,90 g kg<sup>-1</sup> para o SFT e FN, respectivamente.

## CONCLUSÕES

Os teores de P na solução do solo e na planta, a quantidade acumulada de P e a produção de massa seca do arroz, aumentam com o acréscimo das doses de P aplicadas ao solo; o fosfato natural apresentou alta eficiência agrônômica a partir de doses equivalentes à 60 mg kg<sup>-1</sup> de P, sendo a produção de 6,3 e 4,2 g por vaso para o SFT e FN respectivamente.

## REFERÊNCIAS

GONÇALVES, G.K. SOUSA, R.O.;VAHL, L.C.; BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais patos de minas e arad em dois solos

alagados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.v. 32, n. 5, p. 2157-2164, 2008.

KAMINSKI, J.e PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: NRS-SBCS, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3).

NOVAIS, R. F.; SMYTH, J.T.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.;FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES,J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 471-550,2007.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**.v.24, n. 1, p. 29-96, 1972.

SMYTH, T.J. and SANCHEZ, P.A.Phosphate rock dissolution and availability in cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity. **Soil Science Society of America Journal**.v.46, n.2, p. 339-345, 1982.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado - Arroz irrigado: **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria - RS, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26, n.3, p.343-348, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS. 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S. e PAULETTO, E.A. (Eds). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.119-161.

Recebido: 02/06/2013  
*Received:* 06/02/2013

Aprovado: 16/10/2013  
*Approved:* 10/16/2013