

CALAGEM E ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA O ARROZ EM SOLOS INUNDADOS: I. TEORES DE FERRO E FÓSFORO NOS SOLOS⁽¹⁾

**J. W. V. MELLO⁽²⁾, A. C. RIBEIRO⁽³⁾,
R. F. NOVAIS⁽³⁾ & V. H. ALVAREZ V.⁽³⁾**

RESUMO

A dinâmica do P em solos e sedimentos inundados tem grande significado ambiental e parece estar fundamentalmente associada às reações de oxirredução dos compostos de ferro. Com o objetivo de verificar os efeitos da calagem e da adubação fosfatada nos teores de Fe e P no solo, amostras de nove solos de várzeas do estado de Minas Gerais foram tratadas com dois níveis de calcário e seis níveis de fósforo. Após um período de incubação aeróbica, foram determinados os teores de Fe e P dos solos por extração com acetato de amônio, Mehlich-1 e oxalato de amônio. Os solos foram, então, inundados, determinando-se, periodicamente, os teores de fósforo pelo uso do papel aniônico. Verificou-se que a calagem e a adubação fosfatada tenderam a diminuir os teores de Fe e aumentar os teores de P extraível por acetato de amônio e pelo Mehlich-1. Em amostras recentemente inundadas, a calagem tendeu a aumentar o fósforo determinado pelo papel aniônico, ao passo que o contrário ocorreu após maior período de inundação das amostras de solo.

Termos de indexação: solos alagados, extratores, papel aniônico.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa (UFV). Recebido para publicação em abril de 1998 e aprovado em maio de 1999.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa (UFV). CEP 36571-000 Viçosa (MG).

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, UFV. Bolsista do CNPq.

SUMMARY: LIMING AND PHOSPHATE FERTILIZATION OF WATERLOGGED RICE SOILS: I. SOIL FE AND P LEVELS

Phosphorus dynamics in waterlogged soils and sediments is environmentally important and seems closely related to redox reactions of iron compounds. In order to verify the effects of liming and phosphorus fertilization on soil Fe and P contents, nine lowland soil samples from Minas Gerais, Brazil, were treated with two lime and six phosphorus rates. After an aerobic incubation period, the soil Fe and P concentrations were determined by ammonium-acetate, Mehlich-1 and ammonium-oxalate extractants. The soils were then waterlogged and the "anionic-paper-method" phosphorus content was periodically determined. It was verified that lime and phosphate tended to decrease Fe and increase P concentrations as determined by ammonium-acetate and Mehlich-1 extractions. In recently waterlogged samples, lime tended to increase the "anionic-paper" determined P, whereas the opposite occurred after a longer period of waterlogging for some soil samples.

Index terms: flooded soils, extractants, anionic-paper.

INTRODUÇÃO

Em virtude da complexidade que pode assumir a dinâmica do fósforo em solos inundados, parece difícil avaliar a disponibilidade desse nutriente, para as plantas de arroz, a partir de análises convencionais em amostras secas de solos. Em revisão sobre o assunto, Chang (1978) relatou que o extrator de Olsen (NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹) tem sido, na maioria dos casos, o mais eficiente, dada a sua aplicabilidade a vários tipos de solos. Alguns trabalhos também têm demonstrado ser o extrator Mehlich-1 (H_2SO_4 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹) adequado para avaliar a disponibilidade de P para o arroz irrigado por inundação em solos minerais ácidos (Rojas, 1976; Grande et al., 1986). Goedert et al. (1971) observaram estreita relação entre o P-Mehlich, a fração do P ligado a Fe e a produção do arroz irrigado em solo do Rio Grande do Sul.

A redução prévia das amostras de solo tem sido preconizada como uma maneira de melhorar a capacidade de previsão da disponibilidade de fósforo pelos métodos de análise. Ekpete (1976), por exemplo, obteve aumentos nos coeficientes de correlação entre o fósforo absorvido por plantas de arroz e aquele extraído do solo por vários métodos, quando as amostras eram previamente incubadas sob condições anaeróbicas.

Considerando a elevada correlação entre os óxidos de Fe amorfos e a adsorção de P em solos inundados (Khalid et al., 1977), o oxalato, utilizado para remover Fe e Al amorfos do solo, pode ser um extrator com boas perspectivas para estimar o fator quantidade de P nesses solos.

A importância do poder tampão de P, nos estudos de disponibilidade de fósforo, tem sido demonstrada em inúmeros trabalhos com solos bem drenados (Holford, 1976; Freire et al., 1985; Muniz et al., 1987),

especialmente quando o fator quantidade (P lábil) é avaliado por meio de extratores sensíveis ao poder tampão. Ocorre, porém, que, ao contrário do que se verifica em solos bem drenados, o poder tampão de P não é uma característica estável em solos inundados. Conforme se pode inferir do trabalho de Holford & Patrick Jr. (1979), o poder tampão e o fator quantidade de P no solo variam em função do tempo de inundação. Isso revela a necessidade de estudos sobre a dinâmica dos fatores relacionados com a disponibilidade de P em solos inundados.

A avaliação das alterações nos fatores quantidade e capacidade, à medida que a redução do solo progride, constitui um dos entraves aos estudos de dinâmica do P em solos inundados. Supõe-se que a magnitude de tais alterações esteja relacionada com as quantidades de Fe²⁺ mobilizado pela redução do solo, as quais, por sua vez, parecem depender dos teores de Fe avaliados pelo Mehlich-1 e acetato de amônio 1 mol L⁻¹ pH 4,8 (Fe ativo), conforme demonstrado por Mello et al. (1992). Assim sendo, esses extratores também podem ser importantes no sentido de avaliar a disponibilidade de P nos solos inundados.

Van der Zee et al. (1987) e Menon et al. (1989) demonstraram que tanto o P adsorvido reversivelmente (P lábil) como a taxa de dessorção do P no solo podem ser estimados pelo uso de papel filtro impregnado com hidróxido férrico ("papel aniônico"). Presume-se que essa técnica possa ser adaptada para uso em solos inundados, permitindo obter, de maneira simples, dados valiosos para a compreensão dos fenômenos relacionados com a disponibilidade de P para as plantas de arroz irrigado.

Vários trabalhos têm demonstrado que a prática da calagem assume caráter particular em solos inundados (Leite et al., 1970; Howeler, 1973; Barbosa Filho et al., 1983; Pereira, 1985), daí a necessidade

de estudos que busquem melhor compreensão dos múltiplos efeitos da calagem nesses solos, particularmente sobre a disponibilidade de P.

Este trabalho foi realizado com os objetivos de: (a) verificar os efeitos da calagem sobre os teores de Fe e P obtidos por extração com acetato de amônio 1 mol L⁻¹ pH 4,8; Mehlich-1 e oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ pH 3,0, em amostras secas de solo e (b) verificar os efeitos da calagem sobre o P recuperado pelo papel aniônico, em amostras de solo inundadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras (0-20 cm) de nove solos de várzeas de Minas Gerais (Quadro 1). Após destorroadas e peneiradas (0-2,0 mm), as amostras foram secas ao ar, subdivididas em porções de 2,0 dm³ e acondicionadas em sacos de polietileno, constituindo as unidades experimentais.

Os tratamentos constaram de combinações de duas doses de calcário (C0 e C1) com seis doses de fósforo (P0, P1, P2, P3, P4, P5). As doses de calcário foram: C0 = sem corretivo e C1 = CaCO₃ + MgCO₃ em quantidades suficientes para obter saturações de 54% de Ca e 18% de Mg, considerando a CTC do solo a pH 7,0. No solo 7, entretanto, as saturações foram de 44%, para Ca, e de 28%, para Mg, em razão de seu alto teor original de Mg. As doses de P foram diferentes para cada solo, com vistas em obter o máximo rendimento de matéria seca das plantas de arroz dentro do intervalo experimental. Para tanto, foram considerados os resultados obtidos em experimentos prévios com esses mesmos solos (Moura Filho, 1990). As doses de P utilizadas foram: 0, 60, 120, 180, 240 e 300 mg dm⁻³, para os solos 1 e

7; 0, 90, 180, 270, 360 e 450 mg dm⁻³, para os solos 4, 5, 6 e 8; e 0, 120, 240, 360, 480 e 600 mg dm⁻³, para os solos 2, 3 e 9. Diferentes sais (NH₄H₂PO₄, CaH₂PO₄.2H₂O e NaH₂PO₄) foram usados como fonte de fósforo, visando ao balanço de nutrientes.

As amostras de solo com a mistura corretiva foram incubadas por 18 dias, quando, então, receberam as doses de P, sendo incubadas por mais 30 dias, com umidade próxima a 80% da capacidade de campo. Foram, também, aplicadas soluções de uréia e CaCl₂.2H₂O para balancear o N e o Ca fornecidos pelos fosfatos. Adicionaram-se, ainda, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O nos tratamentos sem corretivo a fim de se obter a mesma relação Ca:Mg dos tratamentos com corretivo.

Após o período de incubação, foram retiradas subamostras de cada unidade experimental para as análises de P e Fe pelos extratores Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹); acetato de amônio 1 mol L⁻¹ pH 4,8 e oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ pH 3,0. As relações solo: solução foram de 5,0 cm³: 50 mL para Mehlich-1, com 5 min de agitação; 2,5 cm³: 15 mL para acetato, com duas agitações por 5 min e, entre estas, repouso de duas horas; e 1,0 cm³: 10 mL para oxalato, com agitação por 2 h, no escuro. Em seguida, as amostras de solo foram transferidas para vasos de 3,0 L, onde foi realizado o plantio de arroz, cultivar INCA. Após 15 dias, os vasos foram inundados, mantendo-se uma lâmina de água de 3,0 cm sobre a superfície do solo. Foram realizadas análises de P, diretamente nos vasos, com o uso do "papel aniônico" aos 14 e 28 dias da inundação. Nas análises de P pelo papel aniônico, foi utilizado papel filtro Schleicher & Schwell 100, impregnado com hidróxido férrico (van der Zee et al., 1987; Menon et al., 1989). A impregnação foi feita por imersão do papel em FeCl₃ 0,4 mol L⁻¹ e,

Quadro 1. Características químicas e físicas de nove solos de várzea de Minas Gerais

Solo	Areia	Silte	Argila ⁽¹⁾	Carbono orgânico ⁽²⁾	Fe ₂ O ₃ ⁽³⁾	pH H ₂ O 1:2,5	K ⁽⁴⁾	Al ⁽⁵⁾	Ca ⁽⁵⁾	Mg ⁽⁵⁾	H + Al ⁽⁶⁾
1	870	40	90	15,2	5	4,5	82	1,0	6,7	4,0	20,3
2	450	110	440	25,0	75	5,4	54	0,0	25,7	3,3	45,7
3	250	360	390	19,8	116	5,3	26	0,0	0,3	1,0	19,0
4	230	230	540	27,2	113	4,8	38	3,0	8,0	4,0	57,0
5	680	90	230	23,6	59	5,1	167	1,0	10,0	8,0	29,3
6	530	110	360	21,8	71	5,5	32	0,0	17,3	8,0	31,3
7	690	50	260	25,8	46	5,6	17	0,0	14,0	14,7	24,0
8	570	120	310	18,1	63	5,4	22	0,0	16,7	11,7	43,0
9	700	120	180	15,5	59	5,3	41	0,0	12,3	6,3	32,3

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1979). ⁽²⁾ Walkley-Black (EMBRAPA, 1979). ⁽³⁾ Ataque sulfúrico (VETTORI, 1969). ⁽⁴⁾ Extrator Mehlich-1 (VETTORI, 1969). ⁽⁵⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (VETTORI, 1969). ⁽⁶⁾ Extrator de acetato de Ca 1 mol L⁻¹ pH 7,0.

imediatamente após, em NH_4OH 2,7 mol L^{-1} . Após secagem ao ar, os papéis impregnados foram recortados em tiras de 25 cm^2 de área útil e afixados, com fita adesiva, a suportes plásticos. Esses suportes foram, então, introduzidos nos vasos a 8-10 cm da superfície dos solos inundados e, após 16 h, as tiras do papel aniônico foram lavadas e colocadas em erlenmeyers com 50 mL de H_2SO_4 0,4 mol L^{-1} . Após duas horas de contato, com 30 min de agitação, a solução foi filtrada, obtendo-se o extrato.

O fósforo, nos diferentes extratos, foi determinado pelo método do ácido ascórbico (Braga & Defelipo, 1974) e o Fe por espectrofotometria de absorção atômica. Os extratos com acetato de amônio foram previamente digeridos com água régia (HNO_3 conc. + HCl conc. 1:3 v/v) para eliminar interferências ao desenvolvimento da cor na análise de P.

Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com três repetições. As análises de variância foram realizadas separadamente para cada solo, com vistas em atender ao requisito de homogeneidade das variâncias. O efeito do calcário

foi testado pelo teste F, e os efeitos das doses de P foram avaliados por meio de regressão, estimando-se curvas de resposta a doses de P dentro de cada dose de calcário. Utilizou-se o teste "t" de Student para avaliar a significância dos coeficientes de regressão até 10% de probabilidade. Para as correlações, adotou-se o método de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, a calagem provocou diminuição ($P < 0,01$) nos teores de Fe extraível pelo acetato de amônio (Fe ativo), porém não alterou o Fe extraído por oxalato de amônio (Fe amorfo) e Mehlich-1 (Figura 1), revelando efeito da calagem sobre a estabilidade dos óxidos de Fe ativos no solo, conforme sugerido por Mello et al. (1992). Para o solo 3, entretanto, no qual os teores de Fe amorfo são baixos, percebeu-se efeito da calagem ($P < 0,01$) também sobre o Fe extraível em oxalato de amônio.

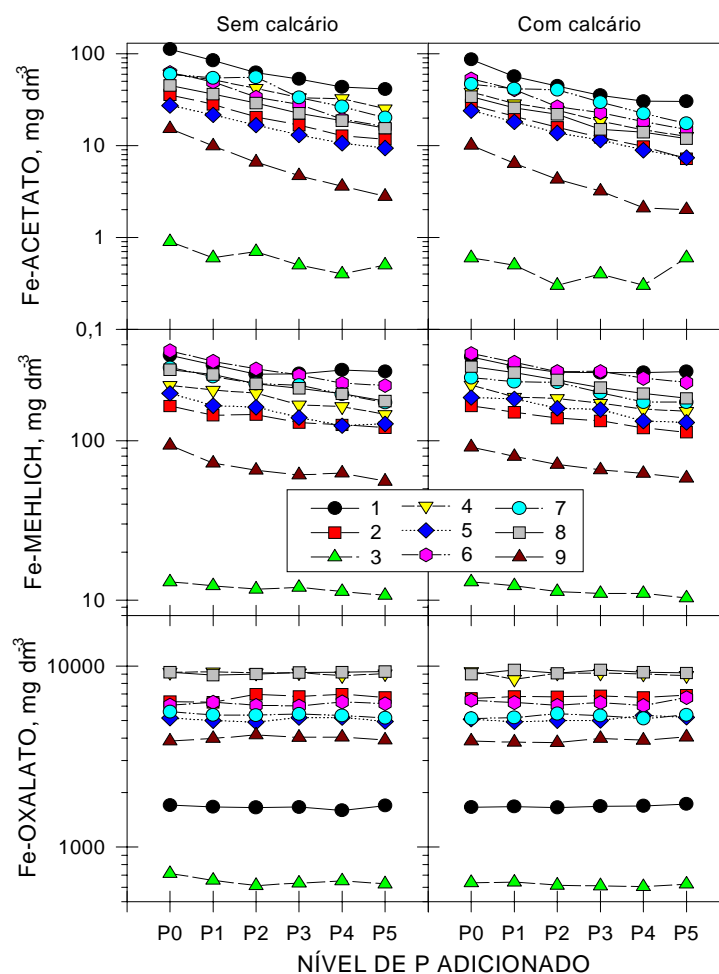


Figura 1. Teores de Fe em amostras de nove solos de várzeas, submetidos a seis doses de fósforo na presença e ausência de calcário.

A adubação fosfatada também provocou decréscimos nos teores de Fe-acetato e Fe-Mehlich. O Fe extraível por oxalato de amônio, de modo geral, não foi alterado pela aplicação de fósforo. Esses resultados indicam que o fosfato aplicado ao solo provavelmente combina-se, preferencialmente, com óxidos de baixa estabilidade, formando compostos mais estáveis. Em revisão sobre o assunto, Goswami & Banerjee (1978) relataram ser o fósforo aplicado em solos de arroz lentamente convertido a formas ligadas ao ferro (P-Fe), sendo esse processo influenciado pela presença de óxidos de Fe amorfo. Tem sido demonstrado que os óxidos amorfo, extraíveis em oxalato, são os principais responsáveis pela sorção de fósforo em solos e sedimentos sujeitos a inundações (Shukla et al., 1971; Kuo & Lotse, 1974; Khalid et al., 1977; Willet, 1979; Kuo & Mikkelsen, 1979; Sah & Mikkelsen, 1986). Nos experimentos de Sah & Mikkelsen (1989) e Sah et al. (1989a,b), a fração de Fe extraível em oxalato de amônio a pH 6,0 revelou-se particularmente importante nas reações de sorção de P. Deve-se salientar que o oxalato a pH 6,0 extrai apenas parte dos óxidos extraíveis por oxalato a pH 3,0; presumivelmente uma fração de menor estabilidade.

Em razão dos decréscimos nos teores de Fe observados com aplicação de calcário e P, pode-se supor que tanto a calagem quanto a adubação fosfatada estabilizam os óxidos de Fe nos solos, podendo limitar a disponibilidade de Fe para as plantas de arroz. Ambas as práticas têm sido recomendadas para minimizar problemas de toxidez de Fe para o arroz em solos submersos (Breemen & Moormann, 1978). A adubação fosfatada, por exemplo, tem sido considerada como medida de controle da "toxidez indireta" de Fe, decorrente da deposição de óxidos de Fe nas raízes das plantas, o que limita a absorção de nutrientes. Contudo, segundo os resultados obtidos, a aplicação de P pode diminuir o nível de Fe^{2+} na solução do solo pela formação de compostos mais estáveis, produto da reação do P com óxidos de Fe de baixa estabilidade. Isso está de acordo com o que foi observado por Willet & Cunningham (1983) e Willet (1985). Segundo esses autores, a adsorção de P na superfície de óxidos de Fe amorfo aumenta-lhes a estabilidade frente a condições de redução no meio.

Os teores de P recuperado pelos extratores químicos, em função das doses de P aplicadas, ajustaram-se, na maioria dos casos, a equações de regressão quadráticas com coeficientes positivos para o componente de segundo grau (Quadro 2). Isso indica que a taxa de recuperação do P adicionado aumentou com o aumento da dose aplicada, principalmente para os extratores Mehlich-1 e acetato de amônio. Tal fenômeno pode ser atribuído a alterações na energia de adsorção das superfícies adsorventes e, ou, aumento da repulsão mútua dos ânions adsorvidos à medida que aumenta a saturação da superfície adsorvente (Kuo & Lotse, 1974).

Admitindo que o P aplicado combina-se, preferencialmente, com óxidos de baixa estabilidade (Fe ativo e Fe-Mehlich), pode-se supor que uma proporção maior do P deverá reagir com esses óxidos quando em doses baixas. Com o aumento da dose de P, essas matrizes de retenção vão sendo saturadas e quantidades maiores de P ficarão disponíveis para adsorção em superfícies mais estáveis. A associação de P com óxidos de Fe de baixa estabilidade envolveria adsorção específica e, ou, reações de precipitação, de modo que os compostos assim formados seriam mais estáveis à ação dos extratores. Essa hipótese pode ser considerada para explicar tanto a diminuição nos teores de Fe-acetato e Fe-Mehlich, quanto o aumento na taxa de recuperação do P com o aumento das doses aplicadas.

Verifica-se que a calagem provocou aumento nas taxas de recuperação de P pelos extratores Mehlich-1 e acetato de amônio. Talvez, ao estabilizar os óxidos de Fe ativos (extraíveis em acetato de amônio) nos solos, a calagem provoque diminuição na superfície disponível para adsorção específica e, ou, reações de precipitação, refletindo-se em aumentos na taxa de recuperação do P adicionado.

O modo de ação do extrator Mehlich-1 é relativamente bem conhecido. Considera-se que esse extrator atua, principalmente, por solubilização dos fosfatos de Ca, de Fe e de Al e, por troca aniônica (Thomas & Peasle, 1973). Por outro lado, existem poucas informações sobre acetato e oxalato de amônio como extratores de P. Acredita-se que esses extratores atuem, principalmente, sobre o P associado a óxidos de Fe ativos e amorfo, respectivamente. O fato de a recuperação do P pelos extratores acetato e oxalato ter sido, de modo geral, maior para os solos com teores mais elevados de Fe ativo e amorfo (Figura 1 e Quadro 2) corrobora essa hipótese. Contudo, não se deve esperar que esses extratores atuem, exclusivamente, sobre o P ligado a óxidos de Fe.

Apesar dos altos coeficientes de variação nas análises de P pelo método do "papel aniônico" (dados não mostrados), os resultados obtidos (Figura 2) confirmaram as tendências observadas para os extratores químicos. De modo geral, foram obtidos aumentos no P recuperado pelo papel aniônico com a calagem. Esses aumentos foram mais evidentes para as análises realizadas no dia da inundação. Para tempos de inundação mais prolongados, verificou-se que, em muitos casos, ou esses aumentos não foram significativos ($P < 0,10$) ou a calagem provocou diminuição no P recuperado, como é o caso do solo 1, aos 14 dias de inundação, e do solo 4, aos 28 dias de inundação. Esses resultados refletem, provavelmente, efeitos do aumento de pH, com o tempo de inundação, sobre a solubilidade dos fosfatos de cálcio, desde que se admita a hipótese de formação desses compostos nos solos com calcário.

Quadro 2. Parâmetros das equações de regressão para P recuperado de amostras dos solos de várzeas pelos extratores químicos (Y, em mg dm⁻³) em função das doses de P adicionadas (X, em mg dm⁻³)

Solo	Sem calcário			Com calcário		
	b0	b1 x 10	b11 x 10 ⁴	b0	b1 x 10	b11 x 10 ⁴
Acetato de amônio, 1 mol L⁻¹ pH 4,8						
1	2,26	1,360		1,91	1,411	1,634
2	1,15	0,185	0,495	0,91	0,265	0,602
3	0,51	-0,015	0,646	0,64	-0,049	0,802
4	1,56	0,071	0,458	1,56	0,078	0,738
5	0,33	0,242	0,717	0,88	0,130	1,365
6	1,22	0,192	1,019	1,69	0,142	1,393
7	0,57	0,098	1,102	0,40	0,213	0,952
8	1,37	0,230	0,813	0,78	0,520	0,422 ⁰
9	0,53	0,245	0,970	0,52	0,396	1,209
Melhich-1						
1	4,54	2,695	4,400	4,90	2,596	7,037
2	5,49	0,576	0,965	5,20	0,719	1,076
3	2,07	0,607	1,035	2,99	0,587	1,274
4	1,19	0,896		3,28	0,812	0,550
5	3,78	0,668	1,549	3,28	0,986	0,899
6	4,73	0,649	1,605	5,59	0,725	1,858
7	1,80	0,564	1,824	0,96	0,935	0,728 ⁰
8	2,17	0,876	0,858*	3,27	1,046	0,723 ⁰
9	2,07	1,330	0,962	1,93	1,657	1,104
Oxalato de amônio, 0,2 mol L⁻¹ pH 3,0						
1	14,74	8,007		13,11	8,266	
2	39,16	6,330		47,44	4,745	2,857
3	4,97	1,823	2,964	4,90	2,169	2,224
4	44,18	6,959		53,37	5,020	3,610 ⁰
5	29,13	4,155	3,314	20,66	5,455	
6	37,24	4,444	4,891*	44,74	4,729	4,385 ⁰
7	6,16	5,261		4,07	5,435	
8	32,41	7,940		38,43	7,536	
9	20,99	6,457		26,33	5,145	2,425

⁰,* Significativos a 10 e 5%, respectivamente. Todos os demais coeficientes foram significativos a 1%. b0, b1 e b11 são os coeficientes da regressão ($Y = b_0 + b_1 X + b_{11} X^2$). Todos os coeficientes de determinação foram superiores a 99% ($R^2 > 0,99$).

Para os solos 2, 3 e 5, os aumentos nos teores de P recuperado pelo papel aniônico, provocados pela calagem, foram, ainda, evidentes aos 28 dias de inundação. Analisando os dados de Mello et al. (1992), verifica-se que os valores de pH, nesses solos, foram inferiores a 6,2 após 28 dias de inundação para os tratamentos com calcário, o que torna mais difícil a formação de fosfatos de Ca nesses solos, em relação aos demais.

O presente experimento não foi planejado de modo que o tempo de inundação pudesse constituir um fator em estudo. Em conseqüência, as análises estatísticas não permitem, a rigor, comparações entre os teores de P recuperado, pelo papel aniônico, nos diferentes tempos de inundação. Entretanto, a despeito dessa limitação, pode-se perceber uma tendência de aumentos nos teores de P com o tempo de inundação (Figura 2). Esses aumentos foram mais

freqüentes para as análises aos 14 dias de inundação em relação àquelas realizadas no início do período de inundação, principalmente nas doses mais baixas de P aplicado (P1, P2 e P3). Aos 28 dias, já foram observados muitos casos de decréscimos no P recuperado em relação aos 14 dias de inundação, principalmente nas doses mais altas de P aplicado. Os solos 2, 4 e 7 sem calcário ilustram casos em que esses decréscimos ocorreram praticamente para todas as doses de P. Os equilíbrios químicos relatados por Lindsay (1979) revelam a possibilidade de precipitação de fosfatos de Fe a valores de Eh relativamente altos, quando as atividades de $H_2PO_4^-$ e Fe^{2+} em solução forem suficientemente altas. Essa hipótese pode ser considerada para explicar os decréscimos no P recuperado, com o tempo de inundação, que foram observados para as doses mais altas de P aplicadas aos solos.

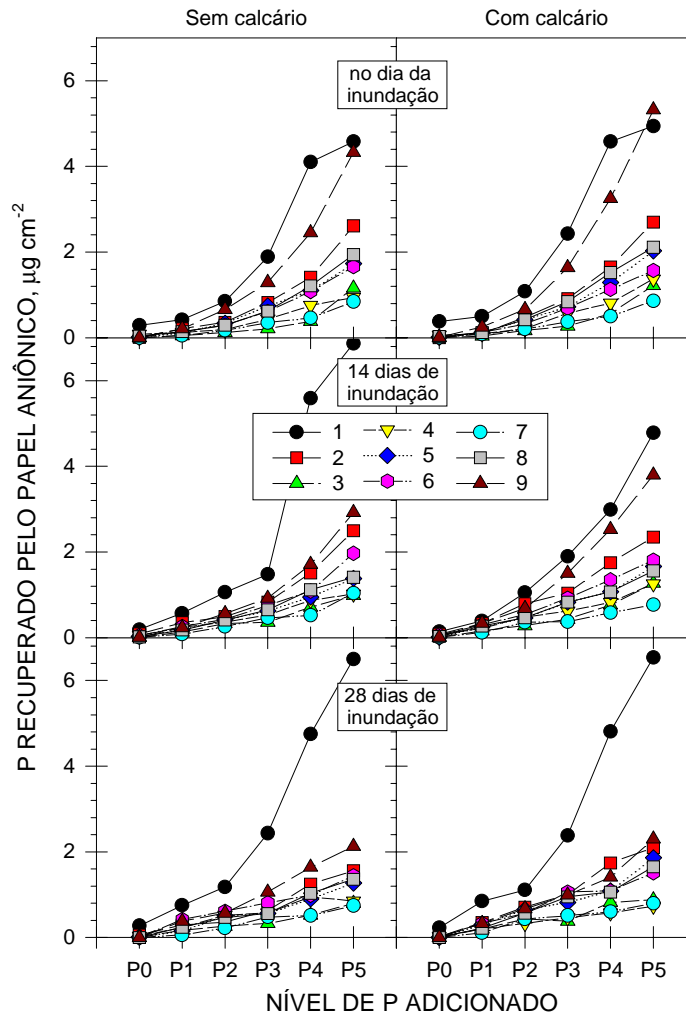


Figura 2. Fósforo recuperado pelo papel aniônico em amostras de nove solos de várzeas, submetidos a seis doses de fósforo na presença e ausência de calcário, considerando diferentes períodos de inundação.

CONCLUSÕES

1. A calagem e a adubação fosfatada proporcionaram menores teores de Fe extraível por acetato de amônio e pelo Mehlich-1, ao mesmo tempo que promoveram aumentos nos teores de P recuperado por esses extratores.

2. Em amostras recentemente inundadas, a calagem tendeu a aumentar o P recuperado pelo papel aniônico; ao passo que, após um tempo maior de inundação, a taxa de recuperação do P chegou a ser diminuída por efeito de calagem, para alguns solos.

LITERATURA CITADA

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:903-910, 1983.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.

BREEMEN, N. van & MOORMANN, D.S. Iron-toxic soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Los Baños, 1978. p.781-800.

CHANG, S.C. Evaluation of the fertility of rice soils. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Los Baños, 1978. p.521-541.

DELAZARI, P.C. Disponibilidade de fósforo em solos do estado do Espírito Santo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 42p. (Tese de Mestrado)

EKPETE, D.M. Evaluation of chemical methods for the determination of available phosphorus in waterlogged soils. *Soil Sci.*, 121:217-221, 1976.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo para o crescimento do estilosantes como função do fator capacidade de fósforo do solo. R. Ceres, 32:488-499, 1985.
- GOEDERT, W.J.; PATELLA, J.F. & MORAES, J.F.V. Formas de fósforo num Planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura do arroz irrigado. Pesq. Agropec. Bras., 6:39-43, 1971.
- GOSWAMI, N.N. & BANERJEE, N.K. Phosphorus, potassium and other macroelements. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Los Baños, 1978. p.561-580.
- GRANDE, M.A.; CURTI, N. & QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina em solos cultivados com arroz irrigado. R. Bras. Ci. Solo, 10:45-50, 1986.
- HOLFORD, I.C.R. Effects of phosphate buffer capacity of soil on the phosphate requirements of plants. Plant Soil, 45:433-444, 1976.
- HOLFORD, I.C.R. & PATRICK Jr., W.H. Effects of reduction and pH changes on phosphate sorption and mobility in an acid soil. Soil. Sci. Soc. Am. J., 43:292-297, 1979.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in flooded oxisol. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 376:898-903, 1973.
- KHALID, R.A.; PATRICK Jr., W.H. & DE LAUNE, R.D. Phosphorus sorption characteristics of flooded soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:305-310, 1977.
- KUO, S. & LOTSE, E.G. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by lake sediments. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38:50-54, 1974.
- KUO, S. & MIKKELSEN, D.S. Distribution of iron and phosphorus in flooded and unflooded soil profiles and their relation to phosphorus adsorption. Soil Sci., 127:18-25, 1979.
- LEITE, N.; GARGANTINI, H.; HUNGRIA, L.S. & IGUE, T. Efeitos de nitrogênio, fósforo calcário e micronutrientes em cultura de arroz irrigado no Vale do Paraíba. Bragantia, 29:273-285, 1970.
- LINDSAY, W.L. Chemical equilibria in soils. New York, John Wiley, 1979. 449p.
- MELLO, J.W.V.; FONTES, M.P.F.; RIBEIRO, A.C. & ALVAREZ V., V.H. Inundação e calagem em solos de várzea: I. Alterações no pH, no Eh e nos teores de Fe²⁺ e Mn²⁺ em solução. R. Bras. Ci. Solo, 16:309-317, 1992.
- MENON, R.G.; HAMMOND, L.L. & SISSINGH, H.A. Determination of plant-available phosphorus by the iron hydroxide-impregnated filter paper (Pi) soil test. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:110-115, 1989.
- MOURA FILHO, G. Disponibilidade de fósforo em amostras de solos de várzea. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990. 76p. (Tese de Mestrado)
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; FREIRE, F.M.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação avaliada por meio de extratores químicos e do crescimento de soja em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. R. Ceres, 34:125-151, 1987.
- PEREIRA, L.F. Efeito da aplicação de calcário, fósforo e zinco no crescimento e nutrição do trigo (*Triticum aestivum* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) em dois solos de várzea do estado de Minas Gerais. Lavras, Escola Superior de Agronomia de Lavras, 1985. 135p. (Tese de Mestrado)
- ROJAS, W.C. Selección de metodos para la evaluación de fósforo disponible en suelos arroceros. Agric. Tecn., 36:5-13, 1976.
- SAH, R.N. & MIKKELSEN, D.S. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformations of phosphate in drained soils: 2. Effects on amorphous iron content and phosphate transformation. Soil Sci., 142:346-351, 1986.
- SAH, R.N. & MIKKELSEN, D.S. Phosphorus behavior in flooded drained soils. I. Effects on phosphorus sorption. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:1718-1722, 1989.
- SAH, R.N.; MIKKELSEN, D.S. & HAFEZ, A.A. Phosphorus behavior in flooded-drained soils. II. Iron transformation and phosphorus sorption. Soil. Sci. Soc. Am. J., 53:1723-1728, 1989a.
- SAH, R.N.; MIKKELSEN, D.S. & HAFEZ, A.A. Phosphorus behavior in flooded-drained soils. III. Phosphorus desorption and availability. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:1729-1732, 1989b.
- SHUKLA, S.S.; SYERS, J.K.; WILLIAMS, J.D.H.; ARMSTRONG, D.E. & HARRIS, R.E. Sorption of inorganic phosphate by lake sediments. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35:244-249, 1971.
- THOMAS, G.W. & PEASLE, D.E. Testing soil for phosphorus. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.115-132.
- van der ZEE, S.E.A.T.M.; FOKKINK, L.G.J. & van RIEMSDIJK, W.H. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:599-604, 1987.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EPE, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WILLET, I.R. The effects of flooding for rice culture on soil chemical properties and subsequent maize growth. Plant Soil, 52:373-383, 1979.
- WILLET, I.R. The reductive dissolution of phosphated ferrihydrite and strengite. Aust. J. Soil Res., 23: 237-244, 1985.
- WILLET, I.R. & CUNNINGHAM, R.B. Influence of sorbed phosphate on the stability of ferric hydrous oxide under controlled pH and Eh conditions. Aust. J. Soil Res., 21:301-308, 1983.