

# EFEITOS DA INUNDAÇÃO DO SOLO. I. INFLUÊNCIA SOBRE O pH, O POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUÇÃO E A DISPONIBILIDADE DO FÓSFORO NO SOLO<sup>1</sup>

JOSÉ FRANCISCO VALENTE MORAES<sup>2</sup>

**SINOPSE.**- Quatro solos e quatro níveis de fósforo (0, 40, 80 e 120 kg de  $P_2O_5$ /ha) foram usados com a finalidade de estudar a influência da inundação dos solos sobre o pH, o potencial de óxido-redução e a disponibilidade do fósforo dos solos. Para tal, a cada sete dias e durante todo o período de inundação, se determinaram o pH, o Eh, o fósforo presente na solução do solo e o fósforo extraído pela resina de intercâmbio aniônico, Amberlita IRA-400.

O pH dos solos ácidos aumentou e o do solo alcalino diminuiu com o tempo de inundação. Em ambos os casos, os valores finais se estabilizaram entre 6,5 e 7,0.

A alteração dos valores do potencial de óxido-redução dos solos foi muito pronunciada. Houve uma rápida diminuição do Eh nas primeiras semanas de submersão, seguida por uma diminuição mais lenta entre a quinta e sétima semanas. A partir desse período, os valores se mantiveram estáveis entre -200 e -300 milivolts.

O fósforo, aplicado ao solo como fertilizante, foi fixado no início da inundação. Somente depois que ocorreram alterações no pH e no Eh dos solos é que aumentou a disponibilidade do fósforo. Tanto o fósforo extraído como o presente na solução do solo aumentaram consideravelmente com o transcurso do tempo. Os coeficientes de correlação entre estas duas formas de fósforo foram de 0,91, 0,85, 0,90 e 0,83, respectivamente para os solos franco La Granja, argila Mesillas, argila Hogamacho e argila Piedras Negras.

Foi verificado que a temperatura do solo influencia a velocidade de modificação do pH e do Eh, assim como a velocidade de liberação do fósforo do solo.

## INTRODUÇÃO

Entre os cultivos de maior importância na alimentação humana, podem ser considerados o trigo, o milho e o arroz. O arroz é cultivado em uma extensão, aproximadamente, de 130 milhões de hectares, o que corresponde a 9% da superfície cultivada no mundo.

O trigo e o milho são cultivados, tradicionalmente, em solo drenado, enquanto que o arroz o é em sua maior parte sob condições de inundação.

Não obstante os solos submetidos à inundação terem sido motivo de extensas investigações, a problemática que estes solos apresentam, no que se refere à dinâmica nutricional, não foi totalmente esclarecida.

Os solos inundados apresentam características próprias, resultantes da alteração do intercâmbio gasoso atmosfera-solo. Entre os principais fenômenos, podem ser citados a intensificação dos processos de redução e consequentemente alterações no pH e no potencial de óxido-redução, como também alterações na dinâmica dos nutrientes.

Um dos efeitos imediatos da inundação é a drástica restrição do processo de intercâmbio gasoso entre o solo e o meio exterior, o qual praticamente é eliminado. O oxigênio pode penetrar no solo somente por difusão através da água retida nos poros, contrariamente ao movimento de fluxo de massas que tem lugar nos solos secos (Garcia Lagos 1968).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 2 fev. 1972.

Parte da tese para a obtenção do grau de M.Sc. do Colégio de Pós-Graduados da Escola Nacional de Agricultura do México.

<sup>2</sup> Eng.º Agrônomo, M.Sc., do Setor de Solos do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul (IPEAS), Caixa Postal E, Pelotas, Rio Grande do Sul.

Esta drástica restrição na difusão do oxigênio não implica que o perfil inteiro de um solo inundado esteja desprovido, em maneira uniforme, de oxigênio. A concentração de oxigênio pode ser alta na capa superficial. Abaixo desta capa do solo, se localiza uma zona praticamente desprovida de oxigênio, na qual se encontram as raízes do arroz.

Pearsall e Mortmer (1939) foram os primeiros a determinar a presença de uma concentração relativamente elevada de oxigênio em capa de solo imediatamente abaixo da superfície da água. Quimicamente esta capa se caracteriza pela presença de oxigênio e de radicais oxidados típicos, como são o Fe-férrico, o Mn-mangânico, os nitratos e os sulfatos, e ainda de microrganismos aeróbios. A capa inferior é pobre em oxigênio e contém Fe-ferroso, Mn-manganoso, N-nítrico e amoniacal, e S-sulfuroso, assim como microrganismos anaeróbios.

### Características físico-químicas

Entre as características físico-químicas dos solos, mais influenciadas pela inundação, estão o pH e o potencial de óxido-redução.

O valor do pH dos solos pode variar notavelmente sob condições de boa aeração, mas alcançam valores de aproximadamente 7, quando os solos são submetidos a condições de redução (Ponnampuruma 1964, Mikkelsen & Patrick Jr. 1968, Black 1968).

Garcia Lagos (1968) observou que, no caso dos solos calcários, ocorre uma diminuição no pH e que nos solos ácidos o pH aumenta ao ter lugar a inundação; além disso, segundo o mesmo autor, qualquer que seja a direção da variação no pH, os valores finais, tanto nos solos ácidos como nos solos alcalinos, convergem

para valores em que a atividade microbiana, a disponibilidade e o aproveitamento do fósforo e de outros nutrientes é maior.

As reações que ocorrem nos solos de arroz, como consequência da inundação, estão estreitamente ligadas à atividade biológica. A supressão do oxigênio do solo, pela inundação, faz com que os microrganismos aeróbios sejam substituídos por microrganismos anaeróbios verdadeiros ou facultativos, os quais dependem da presença de uma fonte de energia. A eliminação do oxigênio do solo dá origem a que os nitratos e os nitritos sejam reduzidos a formas gasosas de nitrogênio. Posteriormente, o manganês é reduzido a Mn-manganoso e a seguir o ferro é reduzido a Fe-ferroso. Se a redução é muito intensa, os sulfatos são reduzidos a S-sulfuro (Mikkelsen & Patrick Jr. 1968).

Takai e Kamura (1966) e Patrick Jr. e Mahapatra (1968) citam que a modificação mais relevante e fácil de medir, observada em um solo inundado, é a diminuição do potencial de óxido-redução. Os solos drenados apresentam um potencial de óxido-redução entre + 400 e + 700 mV, e poucas semanas depois de inundados, mostram potenciais de óxido-redução tão baixos como -250 a -300 mV; indicam também que o processo de redução dos compostos oxidados é seqüencial e ocorre nesta ordem: oxigênio, nitratos, manganês, ferro e sulfatos.

#### Características químicas

Black (1968) cita que a maior parte, se não todo o fósforo absorvido pelas plantas, provém da fração mineral na solução do solo, já que até o momento não existem evidências de que as plantas absorvem o fósforo diretamente da fase sólida, ou os fosfatos orgânicos da solução do solo.

Os solos submetidos à inundação, dadas as suas características, apresentam diferenças notáveis, em relação aos solos secos, em sua capacidade de abastecimento de fósforo e seu aproveitamento pelas plantas (Mitsui 1960, Patrick Jr. & Mahapatra 1968). A diferença no aproveitamento se atribui ao aumento na disponibilidade do fósforo, causado pela inundação (Shapiro 1958, Thaug 1960).

De acordo com Shapiro (1958), Sperber (1958), Mitsui (1960), Thaug (1960), Broeshart *et al.* (1965), Black (1968), Mahapatra e Patrick Jr. (1968) e Mikkelsen e Patrick Jr. (1968), o aumento na disponibilidade do fósforo nos solos inundados pode ser atribuído aos seguintes fatores:

- redução do fosfato férrico a fosfato-ferroso,
- hidrólise dos fosfatos de ferro e alumínio devido ao aumento do pH do solo,
- intercâmbio aniônico entre fosfatos e ânions orgânicos,
- deslocamento do fósforo, dos fosfatos de ferro e alumínio por agentes quelatantes, produzidos pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica,
- liberação do fósforo da matéria orgânica,
- liberação do fósforo nos solos calcários devido à diminuição do pH, e
- remoção da capa de óxido de ferro hidratado que oclui os fosfatos, pela redução do ferro.

No presente trabalho tratamos de estudar as alterações nas propriedades físico-químicas do solo e na disponibilidade do fósforo, causadas pela inundação.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em laboratório e casa de vegetação, na Escola Nacional de Agricultura do México.

Foram usados quatro solos cujas características físicas e químicas, determinadas no laboratório de solos do Colégio de Pós-Graduados da referida Escola, são mostradas no Quadro 1.

QUADRO 1. Características físicas e químicas dos solos estudados

| Características físicas e químicas     | Solos     |          |           |                |
|--|-----------|----------|-----------|----------------|
|  | Hogamacho | Mesillas | La Granja | Piedras Negras |
| <b>Textura</b>                         |           |          |           |                |
| Areia (%)                              | 23        | 19       | 31        | 3              |
| Silte (%)                              | 36        | 28       | 44        | 22             |
| Argila (%)                             | 41        | 53       | 35        | 75             |
| <b>Class. textural</b>                 | argila    | argila   | franco    | argila         |
| pH                                     | 5,42      | 5,42     | 5,00      | 7,90           |
| CE (mmhos/cm 25°C)                     | 0,027     | 0,025    | 0,047     | 0,112          |
| <b>Nutrientes assimiláveis (kg/ha)</b> |           |          |           |                |
| Fósforo (P)                            | 22        | 18       | 27        | 15             |
| Potássio (K <sub>2</sub> O)            | 506       | 674      | 337       | 393            |
| Cálcio (Ca)                            | 4458      | 4566     | 7501      | 19569          |
| Magnésio (Mg)                          | 1044      | 1740     | 1983      | 7029           |

Para facilitar, os solos serão identificados por sua textura e nome, como segue: argila Hogamacho, argila Mesillas, franco La Granja e argila Piedras Negras.

As bases do trabalho foram a determinação do fósforo do solo, do fósforo em solução, do pH e do potencial de óxido-redução.

Para extrair o fósforo do solo se empregou o método das resinas de intercâmbio, seguindo-se a técnica proposta por Hislop e Cooke (1968). A resina usada foi a de intercâmbio aniônico, fortemente básica, de forma clorada, Amberlita IRA-400 [R-N (cH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> Cl T]

Previamente ao experimento realizado em casa de vegetação, foi feita em laboratório a determinação da capacidade de adsorção da resina e do tempo de equilíbrio.

#### Experimentos realizados em Laboratório

Para determinação da capacidade de adsorção da resina foram misturados 0,10, 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00 mg de P na forma de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> com 1 g de resina e 100 ml de água destilada. As misturas foram agitadas por 16 horas. Ao final do período de agitação procedeu-se à quantificação do P adsorvido.

Para determinar o tempo de equilíbrio do intercâmbio P solução  $\rightleftharpoons$  P resina, empregaram-se 16 tratamentos (4 solos e 4 níveis de P, correspondentes a 0, 40, 80 e 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por ha), em duas repetições. 2 ml de solo de cada tratamento, misturados com 3 g de resina e 100 ml de água destilada, foram agitados por 4, 8, 16 e 24 horas, respectivamente. Ao final de cada período de agitação procedeu-se à determinação do P.

Com o fim de estudar as alterações no pH e no potencial de óxido-redução, bem como o aumento na disponibilidade do fósforo causados pela inundação dos solos, foi instalado um experimento de incubação de solos, em casa de vegetação. Os tratamentos usados foram os mesmos empregados na determinação do tempo de equilíbrio. Neste caso, porém, foram usadas três repetições.

Em vasos com capacidade para 3 kg colocaram-se 1 kg de solo, dos diferentes tratamentos. O solo foi inundado, mantendo-se uma lâmina de água de 3 cm sobre a sua superfície, até o fim do experimento.

Foi empregado o desenho experimental completamente casualizado.

#### Análises

A determinação do potencial de óxido-redução e do pH dos solos foi realizada *in situ*, sempre a 4 cm da superfície do solo, empregando-se um potenciômetro portá-

til Beckman G, com elétrodos de platina e de vidro respectivamente. Em ambos os casos, o elétrodo de referência foi o de calomelano.

Para a determinação do fósforo do solo, eram coletados 2 ml de solo de cada tratamento, nas três repetições, os quais eram misturados com 3 g de resina e 100 ml de água destilada. A mistura solo-resina-água era agitada durante 16 horas. Ao final do período de agitação, se procedia à extração do fósforo adsorvido à resina e sua determinação.

Para a determinação do fósforo do percolado, 100 ml da solução do solo eram extraídos de cada vaso. Para

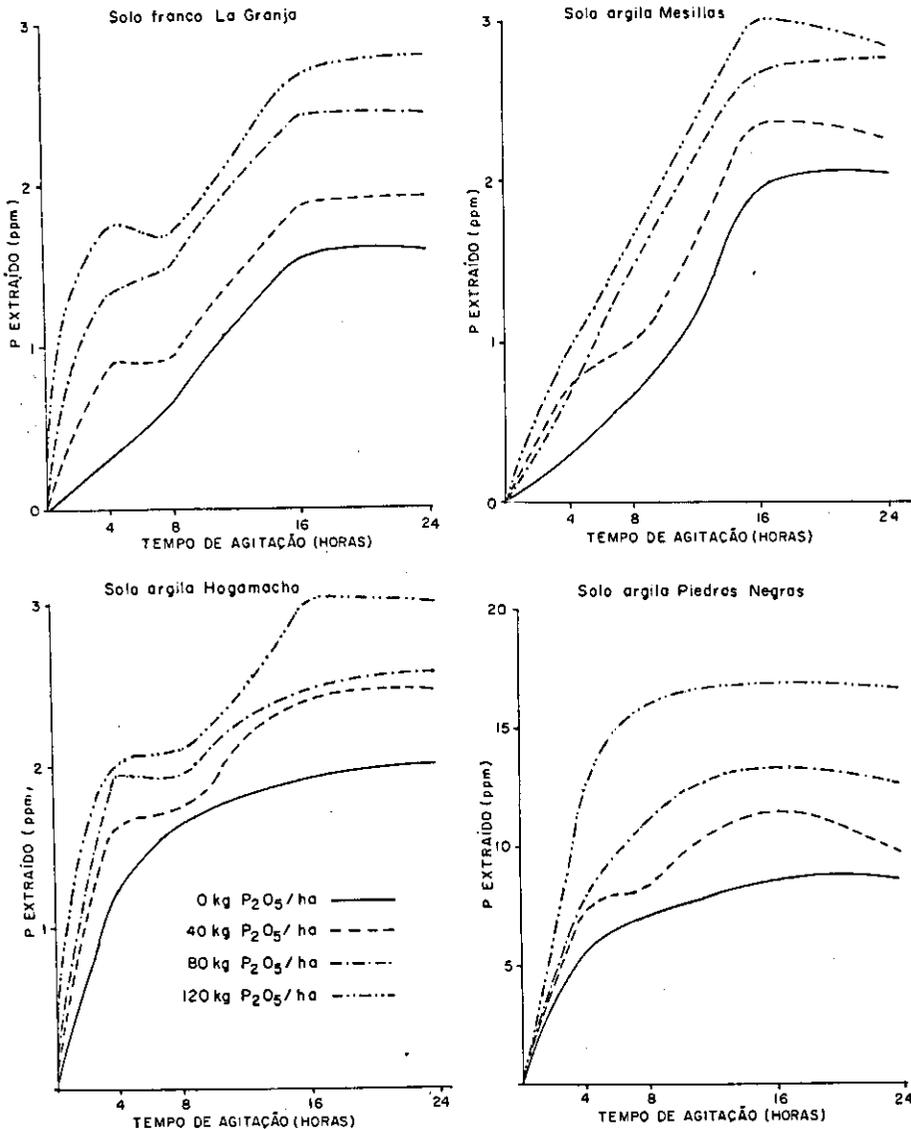


FIG. 1. Fósforo adsorvido à resina em função do tempo de agitação, nos diferentes solos com diferentes tratamentos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

a determinação do fósforo solúvel, empregou-se o método do azul de molibdênio.

Todas as análises (pH, Eh, P extraído e P solúvel) foram realizadas a intervalos de 7 dias, durante todo o período de inundação.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste experimento permitem observar, com relação à capacidade de adsorção da resina, que ao dissolver o fósforo em 100 ml de água e submetê-lo a agitação com 1 g de resina durante 16 horas, as quantidades de fósforo recuperadas foram consideravelmente altas, da ordem de quase 100%, como pode ser visto no Quadro 2. Os resultados concordam com os obtidos por Amer *et al.* (1955) e Palma (1970) com a resina de intercâmbio aniônico DOWEX-2.

QUADRO 2. Capacidade de recuperação da resina fortemente básica, Amberlita IRA-400, utilizada (média de 2 repetições)

| P dissolvido em água<br>(mg/100 ml) | P recuperado       |                            |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|
|                                     | Peso total<br>(mg) | P agregado<br>à resina (%) |
| 0,100                               | 0,099              | 99,9                       |
| 0,250                               | 0,245              | 98,0                       |
| 0,500                               | 0,492              | 98,4                       |
| 0,750                               | 0,720              | 96,0                       |
| 1,000                               | 0,957              | 95,7                       |

A representação esquemática dos resultados obtidos da determinação do tempo de equilíbrio é apresentada na Fig. 1. Nesta se pode observar que o fósforo adsorvido à resina nos diferentes períodos de agitação apresentou um desenvolvimento assintótico, o qual indica que a adsorção do P à resina aumenta progressivamente até alcançar um máximo, que praticamente se mantém estável, ainda que o tempo de contato solo-resina siga aumentando.

O tempo de 16 horas de agitação da suspensão solo-resina, a partir do qual já não aumentou a quantidade de P extraído pela resina, é congruente com o observado por Moser *et al.* (1959), Cooke e Hislop (1963) e Palma (1970). Além disso, de acordo com estes autores, um período de agitação de 16 horas é conveniente, devido a que entre as 12 e as 24 horas de agitação a liberação de fosfato é muito lenta e, portanto, os erros na determinação são mínimos; por outro lado, 16 horas é um tempo conveniente no planejamento do trabalho, já que a agitação pode ser realizada durante a noite.

O experimento de incubação de solos conduzido em casa de vegetação esteve sujeito a variações muito amplas de temperatura. Na fase inicial do trabalho foram registradas temperaturas tão baixas como  $-5^{\circ}\text{C}$  durante a noite, e tão altas como  $45^{\circ}\text{C}$  durante o dia.

Fatores imponderáveis impediram que o experimento fosse conduzido em condições de temperatura controlada. Somente aos 35 dias depois de iniciado o experimento foi possível diminuir a influência das baixas temperaturas, mediante um sistema de calefação. Entretanto, não se conseguiu controlar a temperatura diurna.

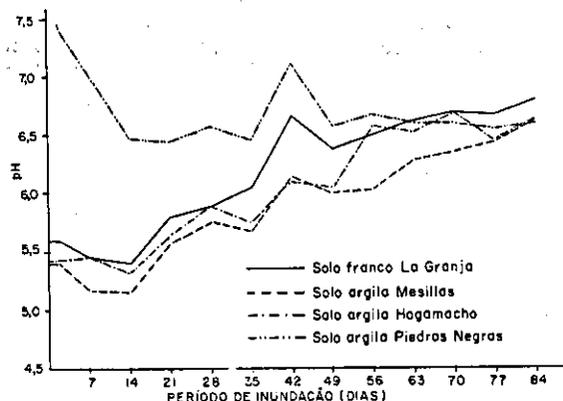


FIG. 2. Variação do pH do solo durante o período de inundação.

### Determinações físico-químicas

A inundação causou profundas modificações no pH dos solos, como pode ser observado na Fig. 2.

O pH dos solos franco La Granja, argila Mesillas e argila Hogamacho, cujos valores eram 5,60, 5,40 e 5,42 antes da inundação, aumentaram com o tempo até alcançarem valores entre 6,5 e 7,0. Ao contrário, o pH do solo argila Piedras Negras, cujo valor inicial era de 7,9, diminuiu até atingir valores compreendidos entre 6,5 e 7,0, como nos casos anteriores.

Os valores observados de pH concordam com o postulado por Ponnemperuma (1964), Black (1968), Garcia Lagos (1968) e Mikkelsen e Patrick Jr. (1968), no sentido de que os solos submetidos a inundação apresentam variações notáveis no pH e ainda que independentemente da direção da alteração, os valores do pH tendem a estabilizar-se entre 6,5 e 7,0.

Com exceção do solo Piedras Negras, cujo pH se estabilizou duas semanas depois da inundação, nos demais solos a velocidade de variação do pH foi menor, estabilizando-se sete semanas depois de serem inundados.

De acordo com Ponnemperuma *et al.* (1963), é nos primeiros dias de inundação que ocorrem as modificações mais notáveis no pH dos solos, alcançando valores próximos à neutralidade nas primeiras duas a três semanas depois da submersão, sempre e quando a temperatura do solo se mantenha entre os 25 e 30°C.

Acreditamos, portanto, que a baixa velocidade observada na modificação do pH dos solos foi causada pelas condições de temperatura reinante no primeiro período de experimentação.

Os valores obtidos da determinação do potencial de óxido-redução ( $Eh_7$ ) são mostrados na Fig. 3. A<sup>a</sup> observamos que a inundação causou uma notável diminuição no potencial de óxido-redução de todos os solos em estudo. A velocidade de diminuição do  $Eh_7$  foi muito intensa, durante as primeiras cinco semanas, seguida por uma diminuição mais lenta entre a 5.<sup>a</sup> e a 7.<sup>a</sup> semanas de inundação. A partir da 7.<sup>a</sup> semana de submersão os valores desta propriedade físico-química mantiveram-se estáveis.

Tal como se observou no caso do pH, a velocidade de abatimento dos valores do potencial de óxido-redução

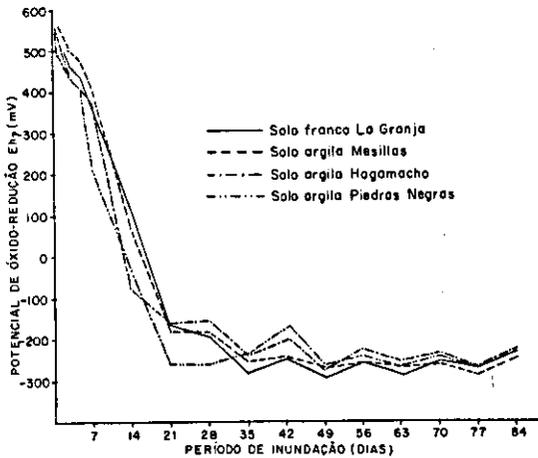


FIG. 3. Variação do potencial de óxido-redução (Eh) durante o período de inundação.

foi mais lenta que a reportada por Ponnampuruma (1964), Mikkelsen e Patrick Jr. (1968) e Patrick Jr. e Mahapatra (1968). Segundo estes investigadores, a estabilização do potencial de óxido-redução em seus valores mínimos é alcançada duas a três semanas depois da inundação dos solos.

Sendo a variação do Eh dos solos dependente da atividade biológica, a temperatura tem uma influência marcada na velocidade de diminuição da mesma. Portanto, postula-se que as baixas e as altas temperaturas registradas foram as causas do atraso observado na estabilização do Eh dos solos em seus valores mínimos. Esta afirmação é corroborada pelos trabalhos de Ponnampuruma *et al.* (1967, 1968), nos quais encontraram que o potencial de óxido-redução dos solos submetidos a temperaturas de 25 a 35°C decrescem rapidamente e se estabilizam poucos dias depois da inundação, ao passo que, quando a temperatura do solo é menor que 20°C, a estabilização do Eh somente ocorre seis semanas depois da submersão.

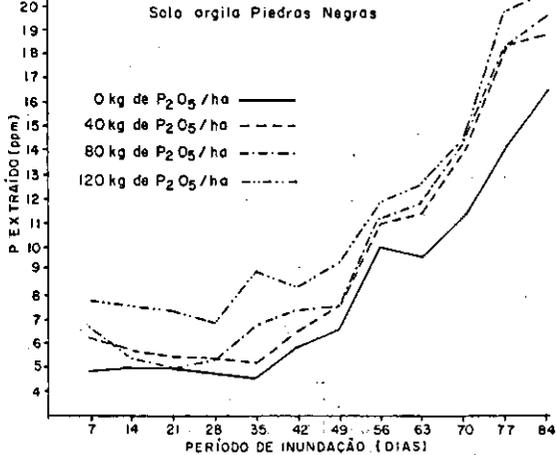
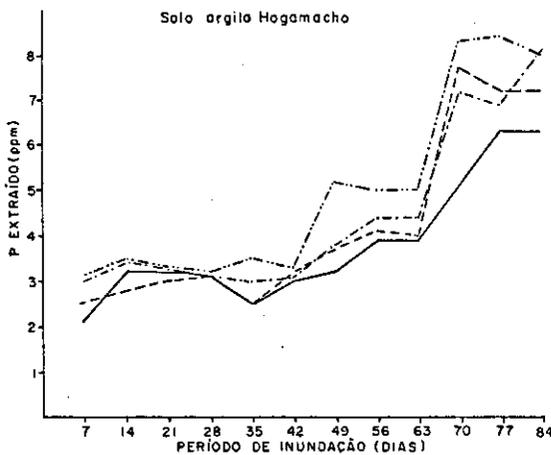
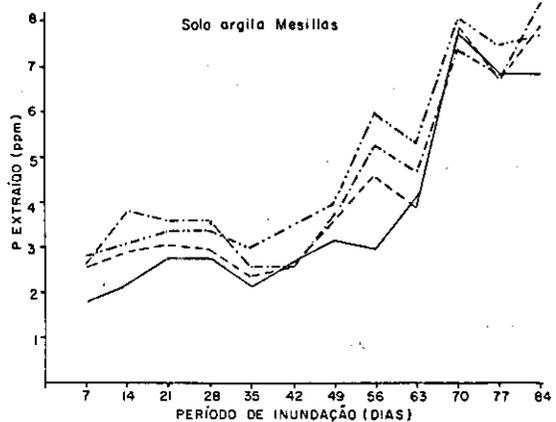
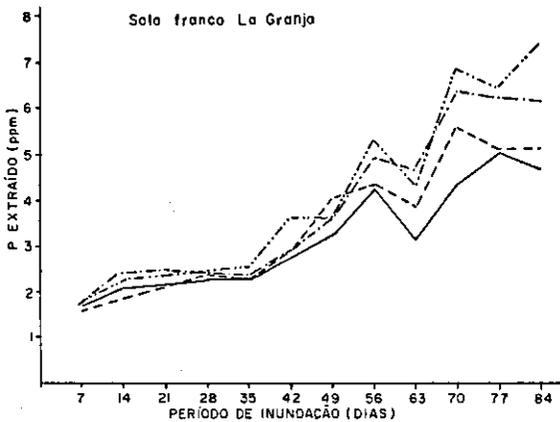


FIG. 4. Fósforo extraído dos diferentes solos, nos diferentes tratamentos com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, pela resina de intercâmbio, durante o período de inundação.

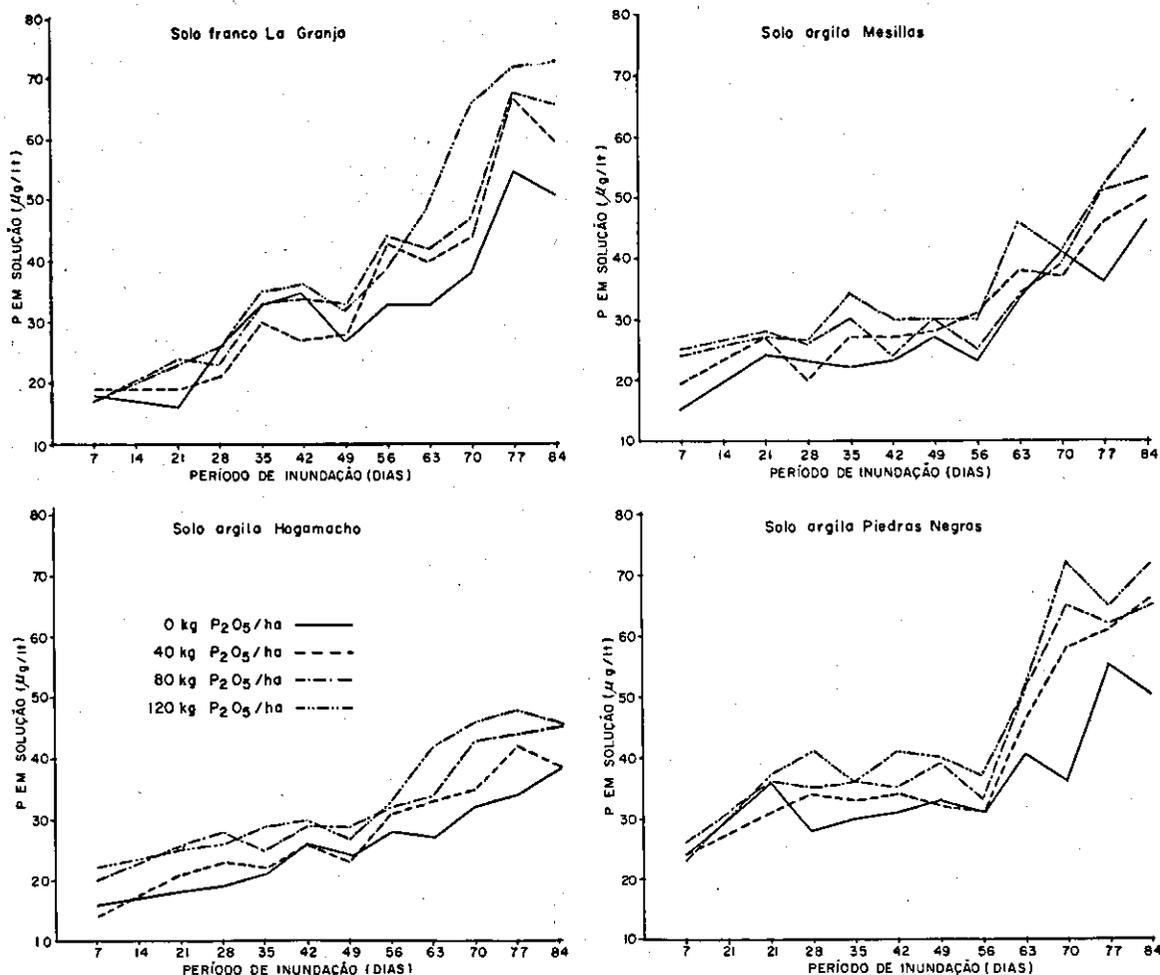


FIG. 5. Concentração de fósforo na solução dos diferentes solos e tratamentos durante o período de inundação.

#### Análises químicas

As análises químicas realizadas durante o período de inundação foram a determinação quantitativa do fósforo do solo, extraído com a resina de intercâmbio (Amberlita IRA-400, fortemente básica), e a determinação quantitativa do fósforo no percolado.

Os resultados obtidos destas determinações são apresentados nas Fig. 4 e 5.

Da representação gráfica (Fig. 4 e 5) se observa que as concentrações de fósforo, nas duas frações estudadas, aumentaram com o tempo de inundação. Esta observação está de acordo com o que reportam Ponnampertuma (1964), Mitsui (1960), Shapiro (1958), Mikkelsen e Patrick Jr. (1968) e Black (1968), entre outros, no sentido de que a inundação causa um aumento na disponibilidade do fósforo do solo.

Em contraposição ao esperado, as quantidades de fósforo determinadas não apresentaram diferenças entre os quatro níveis de fósforo empregados, nas primeiras semanas de inundação. Esta observação nos leva a crer que o fósforo aplicado ao solo como fertilizante foi fixado nos primeiros dias de submersão, o que concorda com os trabalhos de Patrick Jr. e Mahapatra (1968). De acordo com estes investigadores, os fosfatos solúveis aplicados ao solo como fertilizante são transformados, rapidamente, em fosfatos férricos insolúveis. Indicam, também, que a inundação acelera este processo. Somente depois que ocorre a redução do solo é que estes fosfatos são solubilizados.

No que diz respeito à taxa de liberação do fósforo, os dados obtidos indicam que esta foi muito baixa durante as primeiras cinco semanas de inundação, depois aumentou nas cinco semanas posteriores, para diminuir

novamente ao fim deste período. A causa da pequena liberação do fósforo na primeira parte do período de submersão se atribui às baixas temperaturas. Dado que a velocidade de liberação do fósforo nos solos inundados depende da velocidade de diminuição do potencial de óxido-redução e da velocidade de variação dos valores do pH dos solos, é claro que qualquer fator que afete estes dois últimos processos afetará o primeiro. Além da influência das baixas temperaturas registradas durante a noite, temos que considerar o efeito das temperaturas altas observadas durante o dia, pois, como já se indicou, estas alcançaram valores até de 45°C que, segundo Ponnampuruna *et al.* (1968), também causam uma redução na velocidade dos processos físico-químicos e químicos que ocorrem nos solos submetidos à inundação.

As quantidades de fósforo extraído e de fósforo em solução não foram as mesmas em todos os solos estudados. Os solos franco La Granja, argila Mesillas e argila Hogamacho apresentaram quantidades semelhantes durante todo o período de investigação, enquanto que o solo argila Piedras Negras apresentou quantidades, destas mesmas frações, aproximadamente duas vezes maiores que as dos solos anteriores (Fig. 6).

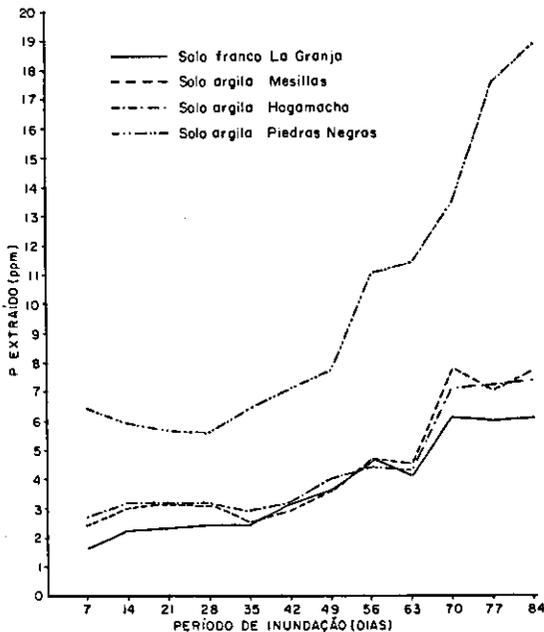


Fig. 6. Fósforo extraído dos diferentes solos, pela resina de intercâmbio aniônico, durante o período de inundação (média de todos os tratamentos de  $P_2O_5$ ).

A maior quantidade de fósforo extraída pelo método das resinas, observada no solo argila Piedras Negras, pode ser devida ao maior conteúdo inicial do elemento,

assim como à sua menor capacidade de fixação de fósforo em comparação com os demais solos, capacidade que não se determinou, mas se infere dos dados da Fig. 1. Além disso, deve-se considerar que o efeito da temperatura do solo não é igual nos diferentes solos.

Um caso semelhante é reportado por Ponnampuruna *et al.* (1968). Estes investigadores encontraram que as baixas temperaturas têm menor influência na liberação de fósforo nos solos neutros ou alcalinos do que nos solos ácidos.

A correlação entre o fósforo extraído pela resina de intercâmbio aniônico e o fósforo presente na solução do solo é mostrada na Fig. 7.

Os valores dos coeficientes de correlação foram 0,91, 0,85, 0,90 e 0,88 para os solos franco La Granja, argila Mesillas, argila Hogamacho e argila Piedras Negras, respectivamente, e indicam, que existe um equilíbrio entre estas duas formas de fósforo nos solos inundados, assim como uma liberação contínua e crescente do nutriente, até alcançar um ponto de estabilização, que neste caso não foi determinado.

Os dados anteriores estão em concordância com os obtidos por Cooke (1966) e Vaidyanathan e Talibudeen (1965). Estes investigadores reportam que, na ausência das raízes, a concentração de fosfatos na solução do solo é governada por um equilíbrio dinâmico entre a fase sólida e a fase líquida. Em presença das raízes, este equilíbrio é alterado devido à absorção do fosfato da fase líquida pelas plantas; mas a contínua solubilização de fosfatos da fase sólida tende a manter em equilíbrio a concentração de fósforo na solução do solo.

## CONCLUSÕES

As variações nos valores do pH e do potencial de óxido-redução, causadas pela inundação dos solos, têm uma influência marcante na disponibilidade dos nutrientes do solo. A estabilização do pH dos solos próximo ao ponto neutro, assim como a diminuição do potencial de óxido-redução devida ao excesso de água, fazem com que a disponibilidade dos nutrientes seja maior nos solos inundados do que nos solos secos. No presente trabalho, foi observado que a disponibilidade do fósforo dos solos aumentou com o tempo de inundação.

No entanto, a utilidade dessa característica dos solos inundados na nutrição das plantas somente será máxima se a inundação do solo ocorrer antes do período de maior exigência nutricional do cultivo. As plantas se caracterizam por apresentarem um período de crescimento muito rápido, que coincide com período mais intenso de absorção de nutrientes. Portanto, se a inundação do solo ocorrer depois desse período, a liberação dos nutrientes, do solo, será de pouca valia.

Outro fator a considerar é a temperatura do solo, pois, como foi observado, as temperaturas baixas retardam a velocidade de modificação do pH e do Eh e, conseqüentemente, a liberação dos nutrientes do solo.

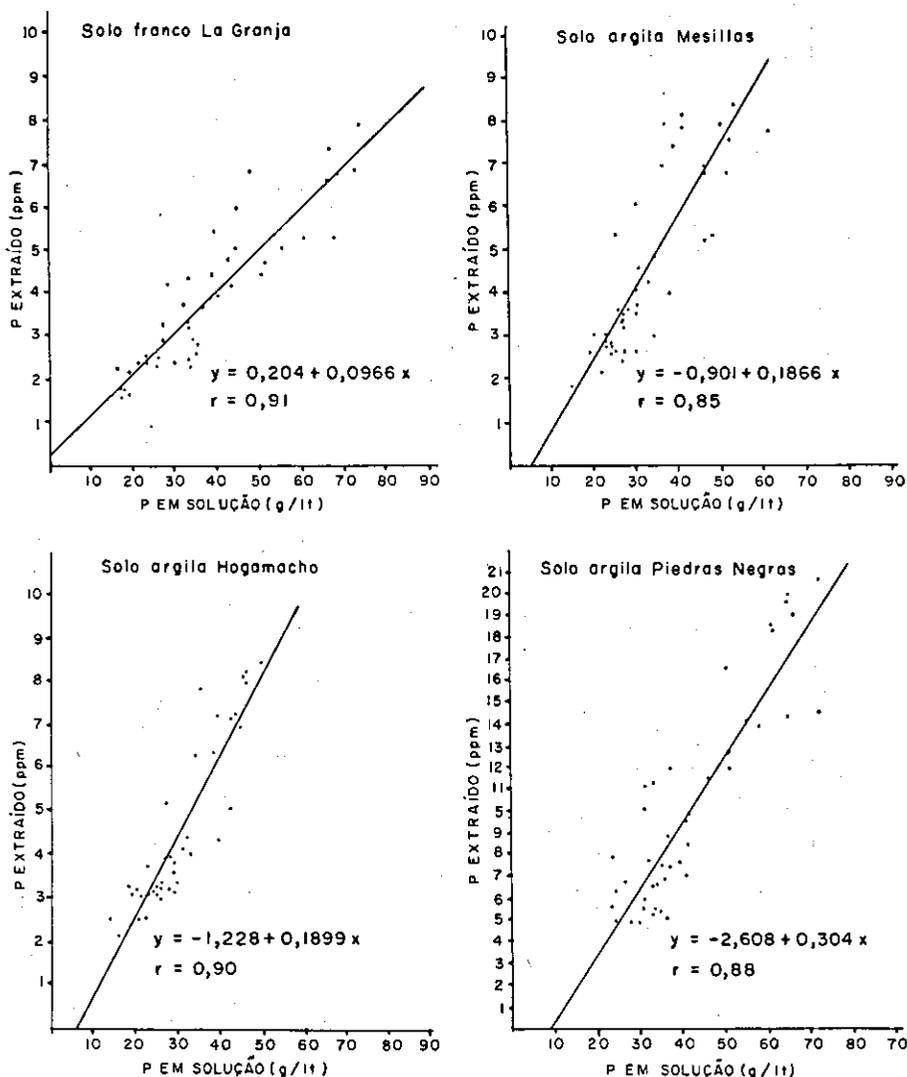


FIG. 7. Representação gráfica das equações de regressão entre o P em solução e o P extraído pela resina intercâmbio aniônico, dos diferentes solos.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos à Fundação Rockefeller pela concessão de uma bolsa de estudos na Escola Nacional de Agricultura, do México; ao Dr. Ricardo Garcia Lagos, conselheiro principal, e aos Drs. Enrique Ortega Torres e Salvador Alcalde Blanco, pelos conselhos dados, críticas e sugestões que fizeram em todas as fases do trabalho; ao Governo Brasileiro e ao Diretor do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul (IPEAS), Pelotas, Rio Grande do Sul.

#### REFERÊNCIAS

- Amer, F., Bouldin, D.R., Black, C.A. & Duke, F.R. 1955. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin and  $p^{32}$  equilibration. *Pl. Soil* 4:391-408.
- Black, C.A. 1968. *Soil-Plant relationships*. 2nd ed. John Wiley, New York, p. 558-653.
- Broeshart, H., Haunold, E. & Friend, M. 1965. The effect water conditions and oxidation-reduction status of rice soils on the availability of soil and fertilizer phosphate. *Pl. Soil* 23:305-313.
- Cooke, I.J. 1966. A kinetic approach to the description of soil phosphate status. *J. Soil Sci.* 17:56-64.
- Cooke, I.J. & Hislop, J. 1963. Use of anion exchange resin for the assessment of available soil phosphate. *Soil Sci.* 95:308-312.
- Garcia Lagos, R. 1968. La físico-química de los suelos inundados en relación con la nutrición del arroz. *Boln inf., Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo*.
- Hislop, J. & Cooke, I.J. 1968. Anion exchange resin as a means of assessing soil phosphate status: a laboratory technique. *Soil Sci.* 105:8-11.
- Mahapatra, I.C. & Patrick Jr., W.H. 1968. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils. *Soil Sci.* 107:281-288.
- Mikkelsen, D.S. & Patrick Jr., W.H. 1968. Fertilizer use on rice, p. 403-432. *In The changing patterns in fertilizer use*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Mitsui, S. 1960. *Inorganic nutrition, fertilization and soil amelioration for lowland rice*. 4th ed. Yekendo Ltd., Tokyo.

- Moser, V.S., Sutherland, W.H. & Black, C.A. 1959. Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants. *Pl. Soil* 10:356-374.
- Palma, V.G. 1970. Uso de resinas de intercâmbio iônico para avaliar la disponibilidad de fósforo en suelos. Tesis M.C., Turrialba, Costa Rica.
- Patrick Jr., W.H., & Mahapatra, I.C. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Adv. Agron.* 20:323-359.
- Fearsall, W.H. & Mortimer, C.H. 1939. Oxidation-reduction potentials in waterlogged soils, natural waters and muds. *J. Ecol.* 17:483-501. (Citado por Ponnampuruma 1955)
- Ponnampuruma, F.N. 1955. The chemistry of submerged soils in relation to the growth and yield of rice. Ph. D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York.
- Ponnampuruma, F.N. 1964. Dynamic aspects of flooded soils, p. 295-328. In *Int. Rice Res. Inst.* (ed.), The mineral nutrition of the rice plant. John Hopkins Press, Baltimore.
- Ponnampuruma, F.N., Macrae, I.C., Bugai, Z.E., Castro, R.V., Castro, T.S., Loy, T., Martinez, E.G., Reyes, E.P. & Tianco, A.C. 1963. Soil chemistry. *Rep. Int. Rice Res. Inst.*, p. 61-88.
- Ponnampuruma, F.N., Valencia, C.M., Loy, T.A., Guevara, E.R., Canlas, Z.M., Realuyo, M.R. & Riego, D.C. 1967. Soil chemistry. *Rep. Int. Rice Res. Inst.*, p. 114-134.
- Ponnampuruma, F.N., Castro, R.V., Loy, T.A., Guevara, E.R., Canlas, Z.M., Valencia, C.M., Realuyo, M.R., Riego, D.C. & Samaniego, S.G. 1968. Soil chemistry. *Rep. Int. Rice Res. Inst.*, p. 113-130.
- Shapiro, R.E. 1958. Effect of flooding on availability of phosphorus and nitrogen. *Soil Sci.* 85:190-197.
- Sperber, J.I. 1958. Release of phosphate from soil minerals by hydrogen sulphide. *Nature, Lond.*, 181:934.
- Takai, Y. & Kamura, T. 1966. The mechanism of reduction in waterlogged paddy soil. *Folia microbiol.* 11:304-313.
- Thaung, M.M. 1960. Relative absorption of phosphorus by rice plants from native and additive sources using radio-active phosphorus as a tracer. *Soil Sci.* 90:284-289.
- Vaidyanathan, L.M. & Talibudeen, O. 1965. A laboratory method for evaluation of nutrient residues in soils. *Pl. Soil* 23:371-376.

ABSTRACT.- Moraes, J.F.V. [*Influence of flooding on pH, oxidation-reduction potential and soil phosphorus availability.*] Influência da inundação sobre o pH, o potencial de oxidação-redução e a disponibilidade do fósforo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1973) 8, 93-101 [Pt, en] IPEAS, Caixa Postal E, Pelotas, RS, Brazil.

Four soils and four levels of phosphorus (0, 40, 80 and 120 kg/ha) have been used with the objective of studying the influence of waterlogging on pH, redox potential and phosphorus availability.

The pH, the Eh, the phosphorus of the soil solution and phosphorus extracted from soil by an anion exchange resin were determined every 7th day during the flooding period.

The pH of the acid soils increased and the pH of the alkaline soil decreased after inundation. In both cases the final values were between 6.5 and 7.0.

The redox potentials of the soils changed remarkably after waterlogging. The Eh of the soils decreased rapidly for the 5 first weeks of submergence followed by a slow decrease between the 5th and 7th weeks, at which time Eh values became stable, between - 200 and - 300 mV.

Phosphorus applied to soil as a fertilizer was fixed at the beginning of the flooding. Availability increased only after pH and Eh changes had taken place. Both extracted and soil solution phosphorus increased with time of inundation. Correlation coefficients between these two forms of phosphorus were 0.91, 0.85, 0.90 and 0.88 respectively for the soils La Granja loam, Mesillas clay, Hogamacho clay and Piedras Negras clay.

It was observed that soil temperature influenced the velocity of changes on pH, Eh and phosphorus availability.