

EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO (^{32}P) POR MUDAS DE EUCALIPTO E ARROZ

Edgar Fernando de Luca^{1,5}; Antonio Enedi Boaretto^{2*}; Takashi Muraoka³; José Carlos Chitolina⁴

¹ Pós-Graduando em Nutrição Mineral de Plantas - USP/CENA.

² Lab. de Nutrição Mineral de Plantas - USP/CENA, C.P. 96 - CEP: 13416-000 - Piracicaba, SP.

³ Lab. de Fertilidade do Solo - USP/CENA.

⁴ Depto. de Ciências Exatas - USP/ESALQ, C.P. 9 - CEP: 13418-900 - Piracicaba, SP.

⁵ Bolsista FAPESP.

*Autor correspondente <aeboaret@cena.usp.br>

RESUMO: O conhecimento das habilidades das plantas em absorver o fósforo do solo e utilizá-lo no seu crescimento é uma via que pode ser importante para melhorar sensivelmente a eficiência da adubação fosfatada. Conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação com objetivo de testar a hipótese de que o eucalipto é mais eficiente do que o arroz em absorver o fósforo de fontes poucos solúveis aplicadas a um Neossolo Quartzarênico, em função dos conceitos de eficiência. As fontes de fósforo $\text{Ca}(\text{H}_2^{32}\text{PO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaH}^{32}\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Ca}_3(^{32}\text{PO}_4)_2$, sintetizadas em laboratório e identificadas por análises de difratometria de raios-X e térmica diferencial, foram utilizadas como traçadores isotópicos. O arroz foi mais eficiente em absorver o fósforo de fontes pouco solúveis, enquanto que o eucalipto apresentou maior utilização biológica do fósforo. O método da diferença (convencional) empregado para determinar a recuperação de P pelas plantas subestimou a absorção deste nutriente, por ambas as culturas, em relação ao método isotópico.

Palavras-chave: absorção de fósforo, fertilizantes fosfatados, síntese de fertilizantes fosfatados, marcação isotópica

EFFICIENCY OF PHOSPHORUS (^{32}P) UPTAKE AND USE BY EUCALYPTUS SEEDLINGS AND RICE

ABSTRACT: The knowledge on different plant abilities to take up soil phosphorus and its use for growth can be important to improve markedly the efficiency of phosphorus fertilization. Having this in mind, an experiment was carried out under greenhouse conditions to test the hypothesis that eucalyptus seedlings are more efficient than rice in absorbing phosphorus from low solubility sources applied to a Quartzamment soil, testing different efficiency concepts. The phosphorus sources $\text{Ca}(\text{H}_2^{32}\text{PO}_4)\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaH}^{32}\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Ca}_3(^{32}\text{PO}_4)_2$, synthesised in laboratory and identified by X-ray diffractometry and thermal differential analyses, were used as radioactive tracers. It was concluded that rice is more efficient in absorbing phosphorus from these low solubility sources, while eucalyptus presents a higher coefficient of biologic P utilisation. The "difference" method (conventional) that in based on P recovery by plants, underestimated the absorption of this nutrient for both species in relation to the isotopic method.

Key words: phosphorus absorption, fosfated fertilizers, synthesis of fosfated fertilizers, isotopic labeling

INTRODUÇÃO

O fósforo é um elemento de baixo aproveitamento na agricultura, em decorrência dos vários processos pelos quais passa. As perdas acumuladas de fósforo desde a etapa de lavra até a assimilação pelas culturas podem chegar a 98% (Cekinski, 1990).

No que diz respeito à influência da planta na eficiência da adubação fosfatada, a seleção de materiais genéticos que tenham boa adaptação a condições de baixa fertilidade do solo pode aumentar sensivelmente o aproveitamento dos fertilizantes aplicados. Do ponto de vista fisiológico, a eficiência nutricional refere-se a habilidade do genótipo em absorver o nutriente do solo, distribuí-lo e utilizá-lo internamente (Goddard & Hollis, 1984). A eficiência de uso de um nutriente é definida como a relação entre produção e a concentração do nutriente no tecido

(Lauchli, 1987), enquanto que para Graham (1984), eficiência é a habilidade de uma espécie ou genótipo em fornecer altas produções num solo deficiente no nutriente em estudo.

Mullette et al. (1974) sugeriram a hipótese de que o *Eucalyptus gummifera* teria desenvolvido um mecanismo para sobrevivência em solos de baixo nível de P disponível, conforme são encontrados em seu habitat natural. Esse mecanismo seria resultado de interações entre exudatos de raízes, microorganismos e íons Al^{3+} , Fe^{2+} e Fe^{3+} , de maneira a promover a solubilização de FePO_4 e AlPO_4 , abundantes naqueles solos.

Como a presença de traçadores isotópicos em fertilizantes permite quantificar o nutriente presente na planta proveniente desse fertilizante (Vose, 1980), torna-se possível calcular a eficiência da planta em absorver o nutriente aplicado via fertilizante.

O objetivo deste trabalho foi comparar os diferentes conceitos de "eficiência", relacionados aos estudos de fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas, por mudas de eucalipto e arroz, utilizando-se da técnica do traçador isotópico. A hipótese foi de que o eucalipto é mais eficiente do que o arroz em absorver o fósforo de fontes poucos solúveis, proposta por Mullette et al. (1974).

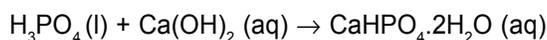
MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Piracicaba-SP e constou de duas fases principais: Obtenção dos fosfatos de cálcio marcados com ^{32}P e aplicação dos fosfatos obtidos para estudo das eficiências em relação ao fósforo.

Obtenção dos fosfatos de cálcio - Os fosfatos marcados foram preparados usando-se como fonte de ^{32}P uma solução de $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ e uma atividade de 296 MBq g^{-1} P do produto das reações.

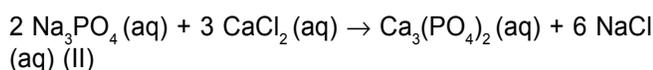
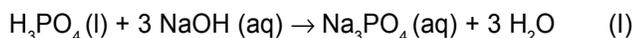
Fosfato monocálcico - $\text{Ca}(\text{H}_2^{32}\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. O procedimento foi baseado na proposta de Vose (1980). Em um copo de capacidade de 1000 mL foram solubilizados 6,6 g de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, reagente analítico, em 330 mL de água deionizada. A seguir, sob agitação mecânica, adicionou-se a solução de $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$. Após quinze minutos de agitação, a solução foi levada para estufa a 60-70 °C, até a evaporação da água, para a recristalização do sal seguindo-se da sua análise.

Fosfato bicálcico - $\text{CaH}^{32}\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Essa síntese foi obtida pela reação ácido-base:



Em um copo de capacidade de 500 mL, sob agitação mecânica, 3,84 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ foram dissolvidos em 200 mL de água deionizada. A seguir, adicionaram-se 5,08 g (3,5 mL) de $\text{H}_3^{31}\text{PO}_4$ ($d = 1,71$; $T = 85\%$) e a solução de $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$. Após 15 minutos de agitação, a solução foi filtrada e o produto retido no papel de filtro, foi lavado dez vezes com porções de 50 mL de água deionizada, recuperado e seco em estufa a 60-70°C até atingir peso constante. Esse produto foi moído e, em seguida, analisado.

Fosfato tricálcico - $\text{Ca}_3(^{32}\text{PO}_4)_2$ - Essa síntese foi obtida conforme as reações:



Em copo de capacidade de 1000 mL com 250 mL de NaOH 1 mol L^{-1} (250 mmol_e ou 10 g) foram adicionados 200 mmol_e de H_3PO_4 (6,54 g ou 4,5 mL de ácido $d = 1,71$ e $T = 85\%$) marcados com a solução de $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$. O excesso de NaOH (50 mmol_e) teve como

finalidade manter elevada a alcalinidade do meio e favorecer a formação de Na_3PO_4 (Rajj, 1991). Em um copo de capacidade de 500 mL solubilizaram-se 11,13 g de CaCl_2 anidro em 100 mL de H_2O deionizada e, então, adicionou-se a solução de Na_3PO_4 preparada inicialmente, formando um precipitado gelatinoso que, após a sua decantação, foi filtrado. Os procedimentos de lavagem, recuperação, secagem e moagem foram os mesmos descritos para o fosfato bicálcico.

Os fosfatos de cálcio, obtidos nos procedimentos acima descritos, foram identificados por meio de difração de raios-X e de análise térmica diferencial (Ewing, 1972). Foram realizadas também as determinações dos teores de P total e de suas porções solúveis em água, em solução neutra de citrato de amônio (CNA) 0,9 mol L^{-1} e em solução de ácido cítrico 0,095 mol L^{-1} (Alcarde, 1982).

Para a verificação da marcação isotópica dos produtos sintetizados, realizou-se a contagem de suas atividades. Para tanto, amostras dos extratos preparados para análise de P total, foram levadas a aparelho de cintilação líquida fazendo-se a contagem da atividade específica por Efeito Cerenkov (Nascimento Filho & Lobão, 1977) e considerando-se uma eficiência de contagem do aparelho de 50%.

Aplicação dos fosfatos obtidos para estudo das eficiências em relação ao fósforo - Foi conduzido um experimento em vasos plásticos contendo 1 kg de terra em condições de casa-de-vegetação. O solo utilizado foi um Neossolo Quartzarênico, cujas amostras foram coletadas na camada superficial (0-0,3 m). Após secagem ao ar, as amostras foram destorroadas e passadas por peneiras de 2 mm de malha, seguindo-se a análise química pelo método da resina trocadora de íons (Rajj et al., 1987) (Tabela 1).

Os tratamentos empregados foram fosfato monocálcico (F.M), fosfato bicálcico (F.B), fosfato tricálcico (F.T), obtidos sinteticamente, e Fosfato Natural de Patos (F.P). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Para comparação das eficiências, optou-se por uma cultura perene e outra anual, eucalipto e arroz, respectivamente. Plantou-se uma muda de eucalipto por vaso e o arroz deixou-se crescer duas plantas por vaso, a partir de sementes. A dose de fósforo aplicada foi de 100 mg P kg^{-1} solo. Os demais nutrientes foram

Tabela 1 - Características químicas do Neossolo Quartzarênico (0-0,3 m) do experimento.

pH	P CaCl ₂ troçável	Complexo Sortivo						
		K	Ca	Mg	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³					%	
4,3	2,6	5,0	15	7,0	22	27	49	55

SB = soma de bases (K + Ca + Mg); CTC = capacidade de troca de cátions (SB + H⁺+Al³⁺); V = saturação de bases [(SB/CTC) x 100].

fornecidos através de solução nutritiva completa menos P (Sarruge, 1975), na concentração de 100 mg N dm⁻³ solução, parceladas em quatro aplicações. Todos os tratamentos foram irrigados até próximo da capacidade máxima de retenção de água do solo.

Sessenta dias após o plantio as plantas foram coletadas em parte aérea e raiz. A separação das raízes do solo foi realizada por peneiragem e catação manual. Esses materiais foram secos em estufa a 60-70 °C, até atingir peso constante, após o que foram pesados e moídos. Amostras do material vegetal seco de parte aérea e raízes foram submetidas a digestão nítrico-perclórica e então determinadas as suas concentrações em P (Bataglia et al., 1983). Partes dos extratos da digestão foram levados a aparelho de cintilação líquida para contagem das atividades específicas por Efeito Cerenkov (Nascimento Filho & Lobão, 1977). O mesmo método foi usado para a contagem do ³²P do solo, extraído pelo método da resina trocadora de íons (Raj et al., 1987), após a colheita das plantas.

A eficiência de uso do fertilizante (EUF), representada pela porcentagem de recuperação do P aplicado, foi calculada conforme a expressão: $EUF = (P_{ppf} / P_{aplicado}) \times 100$, sendo: P_{ppf} (P na planta proveniente do fertilizante) = $(\% P_{ppf} \times P_{total\ na\ planta}) / 100$; e $\% P_{ppf} = (Atividade\ específica\ de\ ^{32}P\ na\ planta / Atividade\ específica\ de\ ^{32}P\ no\ fertilizante) \times 100$. Calculou-se também a recuperação do P aplicado (RP) pelo método da diferença (convencional): $\%RP = [(Quantidade\ P\ na\ planta\ fertilizada - Quantidade\ P\ na\ planta\ testemunha) / P\ aplicado\ no\ solo] \times 100$.

A eficiência de utilização de fósforo para a produção de matéria seca foi calculada pela metodologia do coeficiente de utilização biológica (CUB) proposto por Siddiqi & Glass (1981), definido pela expressão: $E = W / C$, sendo: $C = Q / W$, sendo: $E =$ eficiência de utilização, $W =$ massa seca total, $C =$ concentração de fósforo no tecido e $Q =$ quantidade do nutriente na biomassa. $CUB = (massa\ seca\ total)^2 / quantidade\ do\ nutriente\ na\ biomassa$.

Os resultados foram submetidos a análise de variância (teste F) de acordo com o delineamento proposto. Para quantificação dos efeitos dos tratamentos compararam-se as médias pelo teste Tukey a 5% (Gomes, 1990).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação dos fosfatos de cálcio marcados - As análises de difração de raios-X e térmica diferencial mostraram que os resultados dos produtos preparados em laboratório foram idênticos aos seus respectivos padrões reagentes analíticos p.a. As solubilidades dos fosfatos preparados (Tabela 2) foram semelhantes às aquelas encontradas por Alcarde & Ponchio (1979) nos correspondentes fosfatos reagentes analíticos p.a. O mesmo foi observado para o fosfato de Patos.

Scientia Agricola, v.59, n.3, p.543-547, jul./set. 2002

O fato de existir atividade nos produtos sintetizados, mesmo após sucessivas lavagens com água, indica que a aplicação da solução de H₃³²PO₄ resultou na marcação isotópica dos produtos (Tabela 3).

Eficiência de absorção de fósforo - De modo geral, o método da diferença subestimou a recuperação de P do fertilizante em relação ao método isotópico (Tabela 4). No eucalipto, essa subestimação variou entre 15% (fosfato bicálcico) e 23% (fosfato tricálcico) e no arroz variou entre 2,5% (fosfato bicálcico) e 12% (fosfato monocálcico).

Resultados que superestimaram e subestimaram a contribuição do solo no fornecimento de fósforo às plantas, pelo método da diferença em relação ao isotópico, foram relatados, respectivamente, por Boaretto et al.

Tabela 2 - Teores de Fósforo Total e Solúveis em: Água, Solução Neutra de Citrato de Amônio (CNA) 0,9 mol L⁻¹ e Solução de Ácido Cítrico 0,095 mol L⁻¹ dos Fosfatos sintetizados.

Fonte	Total	% P ₂ O ₅		
		Água	CNA	Ácido cítrico
F. Monocálcico ^a	55,0	54,9	nd	nd
F. Bicálcico ^a	40,4	1,3	35,6	37,7
F. Tricálcico ^a	39,0	0,0	19,3	33,3
F. Patos ^a	25,3	0,0	1,0	5,3
F. Monocálcico ^b	56,3	nd	nd	nd
F. Bicálcico ^c	45,9	0,0	31,4	38,5
F. Tricálcico ^c	39,3	0,0	15,4	36,7
F. Patos ^c	22,0	0,0	2,8	5,1

a = Presente trabalho; b = fórmula molecular Ca(H₂PO₄)₂·H₂O; c = Alcarde & Ponchio (1979); nd = não determinado.

Tabela 3 - Atividade Específica dos Fosfatos Sintetizados.

Fonte	Atividade Específica (³² P)
	MBq g ⁻¹
Fosfato Monocálcico	19,2
Fosfato Bicálcico	15,2
Fosfato Tricálcico	13,7

Tabela 4 - Eficiência de Uso do Fertilizante (EUF) pelas mudas de eucalipto e plantas de arroz - Métodos Isotópico e da Diferença.

Fonte	Eucalipto		Arroz	
	Método Isotópico	Método da Diferença	Método Isotópico	Método da Diferença
	---- % de P recuperado do fertilizante ----			
F. Monocálcico	14,1 A b	20,2 A a	11,1 B b	17,8 B a
F. Bicálcico	17,0 A b	22,2 A a	14,4 A b	21,7 A a
F. Tricálcico	14,2 A a	15,0 B a	10,9 B b	15,1 B a
F. Patos			1,0 C a	1,0 C a

Letras diferentes indicam diferença (Tukey 5%). Maiúsculas na mesma coluna, minúsculas na mesma linha, entre culturas no mesmo método.

(1985) e Pino et al. (1986). Conforme Zapatta & Axmann (1995), o P absorvido do fertilizante nem sempre corresponde ao P absorvido "líquido", medido pela diferença entre plantas adubadas e não adubadas.

Pelo método isotópico, a recuperação variou entre 14% (fosfato monocálcico) e 17% (fosfato bicálcico) para o eucalipto e entre 15% (fosfato tricálcico) e 22% (fosfato bicálcico) para o arroz. Esses valores mostram a maior capacidade de recuperação de P do fertilizante pelo arroz, em relação ao eucalipto. A diferença entre espécies na absorção de fósforo foi citada por diversos autores e dentre os mecanismos envolvidos na absorção estão a dinâmica de crescimento da planta, características do sistema radicular (principalmente arquitetura), afinidade íon-carregador e transformações químicas que ocorrem na interface solo-raiz (Foshe et al., 1991). Essas transformações seriam o princípio da solubilização de fosfatos pelo *Eucalyptus gummifera*, na hipótese de Mullette et al. (1974).

Os valores deste trabalho são maiores que os relatados por Boaretto et al. (1985) e Muraoka (1983), que calcularam, pelo método isotópico, a recuperação de P do superfosfato triplo pelo trigo variando entre 9% e 12% e entre 3% e 4%, respectivamente. Furtini Neto (1994) encontrou, pelo método da diferença, recuperação de fósforo de fosfato monocálcico p.a por *Eucalyptus* abaixo de 10% do aplicado. A recuperação do P aplicado é, geralmente, menor que 20% devido à adsorção de P pelo solo e à baixa capacidade das plantas em absorvê-lo (Gupta et al., 1985). A baixa recuperação pode decorrer também da baixa difusão do fósforo no solo, dificultando o contato com as raízes das plantas (Schenk & Barber, 1979).

Eucalipto e arroz recuperaram mais fósforo do fosfato bicálcico do que do monocálcico. Isso pode ter ocorrido devido à interação entre fertilizante e solo, com o Neossolo Quartzarênico adsorvendo rapidamente o P prontamente disponível do fosfato monocálcico, tornando-o indisponível. Resultados semelhantes, de forma mais pronunciada, têm sido observados em solos argilosos, com maior capacidade de adsorção de fósforo (Scivittaro, 1993). Devido à elevada acidez (pH = 4,3), o Neossolo Quartzarênico poderia estar contribuindo com prótons H⁺, solubilizando o CaH³²PO₄ (fosfato bicálcico) de forma mais sincronizada com o desenvolvimento e necessidades da planta, ocorrendo maior adsorção do P.

A menor concentração de P no solo, após a colheita das plantas, foi observada no tratamento que recebeu o fosfato de Patos (Tabela 5). Isto, associado à baixa recuperação de P do fosfato de Patos (1%), indica que esse fosfato não foi solubilizado no período considerado, não liberando o fósforo para as plantas a curto prazo. Resultados semelhantes foram encontrados por Goedert & Lobato (1980), que explicaram tal fato pela não dissolução do fosfato, pois verificaram que não ocorreram aumentos na concentração de P na solução do solo após a aplicação deste fosfato.

Eficiência de utilização de fósforo - A maior eficiência de utilização de fósforo pelo eucalipto decorreu de sua maior produção de matéria seca (Tabela 6). Os maiores coeficientes de utilização biológica (CUBs) apresentados pelas plantas testemunhas e pelas adubadas com fosfato de Patos, em relação aos fosfatos sintetizados, ocorreram devido à manutenção de boa produção de matéria seca mesmo sob menor concentração de P no tecido, resultando em menor acumulação de fósforo, ou seja, mesmo sob baixas concentrações do nutriente nos tecidos, essa cultura mostrou boa eficiência de conversão do nutriente em biomassa. Esses resultados concordam com os de Furtini Neto (1994), segundo o qual a eficiência de utilização de fósforo mostrou ser um bom parâmetro para explicar a produção de matéria seca por *Eucalyptus*.

A eficiência de algumas espécies em se desenvolverem sob baixo suprimento de fósforo tem sido atribuída à sua lenta taxa de crescimento, aliada a uma pequena exigência metabólica (Clarkson, 1985). Baixas taxas de crescimento são características de espécies de *Eucalyptus* em solos da Austrália que apresentam baixa disponibilidade de fósforo (Furtini Neto, 1994).

Os valores de CUB do arroz muito abaixo daqueles encontrados para eucalipto, foram devidos à menor produção de matéria seca e à maior concentração de fósforo na planta. Assim, a maior recuperação de P do fertilizante pelo arroz, pode ser devido à essa

Tabela 5 - Quantidade de P no Solo Após Colheita.

Fonte	Eucalipto	Arroz
	----- mg P dm ⁻³ -----	
Fosfato Monocálcico	42,5 B b	55,9 A a
Fosfato Bicálcico	37,9 B a	40,5 B a
Fosfato Tricálcico	66,0 A a	60,3 A a
Fosfato de Patos	4,8 C a	5,0 C a
Testemunha	1,2 C a	1,2 C a

Letras diferentes indicam diferença (Tukey 5%). Maiúsculas na mesma coluna, minúsculas na mesma linha.

Tabela 6 - Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) de P por eucalipto e arroz.

Fonte	Eucalipto	Arroz
	----- [(mg m.s.) ² mg ⁻¹ P] x10 ⁶ -----	
Fosfato Monocálcico	8,6 B a	3,5 AB b
Fosfato Bicálcico	10,2 B a	3,9 A b
Fosfato Tricálcico	9,2 B a	3,3 AB b
Fosfato de Patos	17,5 A a	5,0 A b
Testemunha	19,3 A a	1,2 B b

m.s = matéria seca. Letras diferentes indicam diferença (Tukey 5%). Maiúsculas na mesma coluna, minúsculas na mesma linha.

necessidade de maior concentração do elemento no tecido para a conversão em biomassa.

O local de origem das plantas é um fator importante na capacidade de absorção e utilização de fósforo (Blair & Cordero, 1978). Algumas espécies de plantas que crescem em regiões de solos pobres em P, conforme é o caso da maioria das espécies de *Eucalyptus*, parecem ser pouco eficientes na absorção de fósforo, mas muito eficientes na sua utilização, conforme obtido neste trabalho.

CONCLUSÕES

O arroz é mais eficiente que o eucalipto em absorver o fósforo do fertilizante, enquanto que o eucalipto apresenta maior coeficiente de utilização biológica (CUB) do que o arroz.

O método da diferença subestima a absorção de fósforo pelas culturas de eucalipto e arroz, em relação ao método isotópico.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e IAEA-BRA/7500 pelo financiamento do projeto. Ao Prof. Massao Ionashiro, do Instituto de Química da UNESP - Araraquara, pela realização da análise térmica diferencial. Ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, pela realização da análise por difratometria de raios-X. Ao Prof. Ronaldo Ivan Silveira, do mesmo Departamento da ESALQ/USP, pelas valiosas discussões sobre as sínteses dos fosfatos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. **Métodos simplificados de análise de fertilizantes (N, P, K) minerais**. Brasília: Laboratório Nacional de Referência Vegetal, 1982. 49p.
- ALCARDE, J.C.; PONCHIO, C.O. A ação solubilizante das soluções de citrato de amônio e de ácido cítrico sobre fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.173-178, 1979.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Método de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BLAIR, G.J.; CORDERO, S. The phosphorus efficiency of three annual legumes. **Plant and Soil**, v.50, p.387-398, 1978.
- BOARETTO, A.E.; NEPTUNE, A.M.L.; PATELLA, J.F. Efeito de fontes de nitrogênio e de modos de aplicação do adubo fosfatado (³²P) sobre a porcentagem de utilização do fósforo do superfosfato simples pelo trigo (*Triticum aestivum* L.). **Anais da ESALQ**, v.42, p.107-117, 1985.
- CEKINSKI, E. Fertilizantes fosfatados. In: CEKINSKI, E.; CALMANOVICI, C.E.; BICHARA, J.M.; FABIANI, M.; GIULIETTI, M.; CASTRO, M.L.M. M.; SILVEIRA, P.B.M.; PRESSINOTTI, Q.S.H.C.; GUARDANI, R. (Ed.) **Tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo: IPT, 1990. p.95-129.
- CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, Ilhéus, 1984. **Anais**. Ilhéus: CEPLAC, 1985. p.45-75.
- EWING, G.W. **Métodos instrumentais de análise química**. São Paulo: Edgard Blucher, 1972. 2v.
- FOSHE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. **Plant and Soil**, v.132, p.261-272, 1991.
- FURTINI NETO, A.E. Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* spp. Viçosa, 1994. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- GODDARD, R.E.; HOLLIS, C.A. The genetic basics of forest tree nutrition. In: BOWEN, G.D.; NAMBIER, E.K.S. (Ed.) **Nutrition of plantation forest**. London: Academic Press, 1984. p.237-258.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, p.311-318, 1980.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- GRAHAM, R.D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P.B.; LAUCHLI, A. (Ed.) **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p.57-102.
- GUPTA, A.P.; KHANNA, S.S.; TOMAR, N.K. Effect of sodicity on the utilisation of phosphatic fertilisers by wheat. **Soil Science**, v.139, p.47-52, 1985.
- LAUCHLI, A. Soil science in the next twenty five years: does a biotechnology play a role? **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.1405-1409, 1987.
- MULLETTE, K.J.; NOLA, J.H.; ELLIOTT, A.G.L. Insoluble phosphorus usage by *Eucalyptus*. Short communication. **Plant and Soil**, v.41, p.199-205, 1974.
- MURAOKA, T. Efeito de fontes de nitrogênio na absorção de fósforo pelo trigo. **Energia Nuclear e Agricultura**, v.5, p.31-40, 1983.
- NASCIMENTO FILHO, V.F.; LOBÃO, A.O. **Deteção de ³²P em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector GM**. Piracicaba: CENA/USP, 1977. (Boletim Científico, 48).
- PINO, I.; MICHAUD, A.; CASAS, L. Eficiência de superfosfato triple (32P) en cuatro suelos derivados de cenizas volcanicas. **Nucleotécnica**, v.11, p.43-50, 1986.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopatologica**, v.1, p.231-233, 1975.
- SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, p.880-883, 1979.
- SCIVITTARO, W.B. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos. Piracicaba, 1993. 111p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilisation index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilisation efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p.289-302, 1981.
- VOSE, P.B. **Introduction to nuclear techniques in agronomy and plant biology**. New York: Pergamon Press, 1980. 391p.
- ZAPATA, F.; AXMANN, H. ³²P isotopic techniques for evaluation the agronomic effectiveness of rock phosphate materials. **Fertiliser Research**, v.41, p.189-195, 1995.

Recebido em 08.02.01