

ADUBAÇÃO FOSFATADA PARA MILHO E CAUPI EM LATOSSOLO AMARELO ÁLICO DO TRÓPICO ÚMIDO¹

THOMAS JOT SMYTH² e JOAQUIM BRAGA BASTOS³

RESUMO - Este estudo foi realizado na UEPAE de Manaus, em Latossolo Amarelo Álico de textura muito argilosa. O delineamento foi de blocos ao acaso com quatro repetições e cinco níveis de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha de P₂O₅) aplicados a lanço, em dezembro de 1981. Foram feitas, para análise química, coletas de solo e de plantas nos estádios de embonecamento para o milho e floração do caupi. Para a produção de milho, o melhor ajuste foi obtido com função quadrática do P₂O₅ aplicado, enquanto para caupi (1982), foi a função quadrática da raiz quadrada de P₂O₅ aplicado. Com 200 kg/ha de P₂O₅, em quatro cultivos sucessivos (milho-caupi), houve aumento de 6,6 t/ha de grãos em relação ao tratamento sem fósforo. Os níveis críticos de P no solo, para 80% do rendimento máximo, foram de 7 ppm e 11 ppm com extrator Mehlich I e 9 ppm e 22 ppm com extrator Bray 1, respectivamente, para milho e caupi.

Termos para indexação: teste de solo, disponibilidade de P no solo, efeitos residuais de P, análise foliar de P, Oxisolos.

PHOSPHORUS FERTILIZATION FOR CORN AND COWPEAS ON A TYPIC ACROTHOX IN THE HUMID TROPICS

ABSTRACT - Corn and cowpea response to initial and residual P fertilization were evaluated on a clayey Typic Acrorthox at UEPAE/Manaus. Five rates of broadcast applied P (0, 50, 100, 200 and 400 kg/ha P₂O₅) were established in December 1981 in a randomized complete block design with four replications. Soil and plant samples, collected at corn silking and cowpea flowering were analyzed for P. The quadratic model provided a good representation of the relationships between corn yields and P rates, whereas the square root quadratic model was representative of the same relationships for cowpeas in 1982. During four successive crops of the corn-cowpea rotation cumulative grain yield responses with 200 kg/ha of P₂O₅ were 6,6 ton/ha. Critical soil test P values, with the Mehlich I extractant, were 7 ppm and 11 ppm, respectively, for corn and cowpeas. Soil test critical values, with the Bray 1 extractant, were 9 ppm and 22 ppm P for corn and cowpeas, respectively. Critical levels for both P extractants were determined at 80% maximum yield.

Index terms: soil P test, residual P fertilizer effects, foliar P analysis, Oxisols.

INTRODUÇÃO

Nas áreas de "terra firme" da Amazônia predominam solos ácidos com baixo teor de fósforo disponível. Cochrane & Sanchez (1982) estimaram que 90% dos solos na região amazônica eram defi-

cientes em P e que 16% apresentavam condições de elevada fixação de P. Em estudos com quatorze solos do Brasil e Colômbia, Le Mare (1982) observou que os Latossolos Amarelos da região de Manaus sorveram menos P que os solos de origem vulcânica (Andepts) da Colômbia e os Latossolos da região dos Cerrados.

A maior parte dos ensaios em campo, relatados por Cruz et al. (1982) para os solos mais representativos da região Norte, mostraram resposta das culturas anuais à adubação fosfatada. Porém são poucos os estudos nesta região que descrevem, em nível de campo, as relações entre produção e/ou P aplicado e P disponível no solo (Doses... 1982). A curta duração da maioria destes estudos não permitiu a quantificação do efeito residual do adubo fosfatado no solo.

Neste trabalho, foram avaliados os efeitos da adubação fosfatada sobre a produção de milho e caupi da rotação milho-caupi, e a disponibilidade

- ¹ Aceito para publicação em 16 de agosto de 1985. Trabalho 9791 do Serviço de Pesquisa Agrícola de Carolina do Norte, Raleigh, Carolina do Norte (EUA). Conduzido na UEPAE de Manaus em colaboração com o Programa de Solos Tropicais da Univ. Est. de Carolina do Norte e parcialmente subvencionado pela Fundação Rockefeller e Instituto da Potassa & Fosfato (EUA). Apresentado na XVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Itabuna, BA, 22 de julho de 1984.
- ² Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Solos, Programa de Solos Tropicais da Univ. Estadual de Carolina do Norte (NCSU), Raleigh EUA, Convênio EMBRAPA/NCSU/IICA, Caixa Postal 455, CEP 69000 Manaus, AM.
- ³ Eng. - Agr., M.Sc. EMBRAPA/Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Manaus, (UEPAE de Manaus), atualmente no Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Caixa Postal 48, CEP 66000 Belém, PA.

de P no solo durante cinco cultivos sucessivos após a aplicação do fertilizante.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Manaus (UEPAE de Manaus), localizada na rodovia AM-010 km 30. O solo caracteriza-se como Latossolo Amarelo álico de textura muito argilosa. A vegetação de mata foi derrubada e queimada em setembro de 1981. As propriedades químicas do solo depois da queima são mostradas na Tabela 1. A análise das cinzas indicou que foram adicionados ao solo aproximadamente 6 kg/ha de P pela queima da mata (Smyth & Bastos 1984).

TABELA 1. Características químicas do Latossolo Amarelo álico, na profundidade de 0 cm - 15 cm antes do início do experimento. Média de 20 amostras.

Característica	Característica*	
C (%)	3,09	K (ppm) 59
pH em água	4,9	P (ppm) 4
Ca (meq/100 ml solo)	1,5	Mn (ppm) 7
Mg (meq/100 ml solo)	0,8	Zn (ppm) 0,7
Al (meq/100 ml solo)	0,7	Cu (ppm) 2

* Extraídos do solo pelo método de Mehlich I.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições e cinco níveis de P (0, 50, 100, 200 e 400 kg/ha de P_2O_5) aplicados a lanço, em dezembro de 1981, na forma de superfosfato triplo. As dimensões de cada parcela foram de 5 m x 10 m. Efetuaram-se cinco plantios sucessivos da rotação milho-caupi, durante o período de dezembro de 1981 a abril de 1984. A época usada para os plantios de milho e caupi foi de novembro a janeiro e de maio a junho, respectivamente. As densidades de milho ('BR 5102') e caupi ('IPEAN V-69') foram de 50.000 e 200.000 plantas/ha com espaçamento de 1 m e 0,5 m entre linhas para as respectivas culturas.

Durante o experimento, foram aplicadas, em todas as parcelas, doses uniformes de calcário dolomítico, K, B, S, Zn e Cu sempre que se detectavam, pela análise de solo, possíveis deficiências de nutrientes. Foram aplicados 80 kg/ha de N em três parcelas iguais, por ocasião do plantio e aos 25 e 55 dias após o plantio do milho.

Amostras de solo (profundidade 0 cm - 15 cm) e de folhas foram coletadas no estágio de embonocamento do milho e floração do caupi. No milho, coletou-se a folha imediatamente inferior e oposta à espiga e, no caupi, folhas de maturação recente. A extração de P disponível no solo foi feita pelos extratores Mehlich I e Bray I, confor-

me descrito por Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979) e Olsen & Dean (1965), respectivamente. Determinou-se P no solo e nas folhas pelo método de Murphy & Riley (1962). A digestão do tecido vegetal foi feita por via úmida com H_2SO_4 e H_2O_2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentadas as produções médias do primeiro cultivo de milho em função dos tratamentos. A baixa produtividade e o elevado índice de variabilidade do cultivo resultaram, em parte, da incidência de micoplasma. Observou-se porém, resposta ao primeiro nível de P_2O_5 aplicado.

TABELA 2. Produção de grãos e concentração foliar de P no primeiro cultivo de milho (81/82), após a aplicação de níveis de P_2O_5 a lanço (Latosolo Amarelo álico).

P_2O_5	Produção		P na folha
	kg/ha	%	
0	286	0,18	
50	1.452	0,21	
100	1.299	0,25	
200	1.547	0,30	
400	1.831	0,35	
DMS 0,05	ns	0,10	
CV (%)	53	23	

As produções médias das quatro culturas subsequentes encontram-se na Fig. 1. Obteve-se o melhor ajuste da produção do milho com a função quadrática de P_2O_5 aplicado (Tabela 3). Para o caupi, em 1982, a função quadrática de $(P_2O_5)^{1/2}$ apresentou o maior coeficiente de determinação. Em estudos de adubação na Austrália, Colwell (1981) destacou este modelo por estimar produções próximas da realidade máxima. Em 1983, observou-se uma tendência linear na produção do caupi em função dos efeitos residuais de P_2O_5 aplicado.

Os coeficientes lineares e quadráticos das regressões para o milho foram similares nos dois anos agrícolas. A principal diferença entre anos foi nas produções de grãos na ausência de P aplicado.

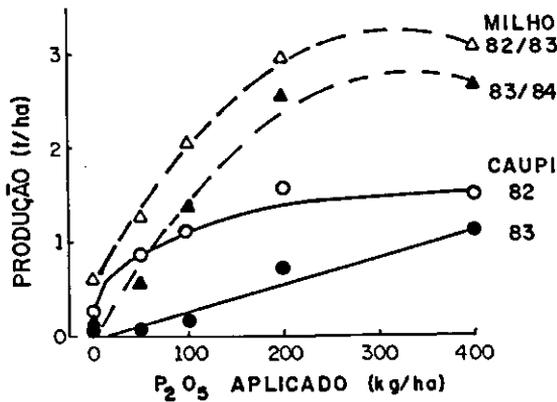


FIG. 1. Respostas em produção de grãos de milho e caupi a níveis de P₂O₅ aplicados a lanço, em dezembro de 1981 (Latossolo Amarelo álico).

Houve aumento médio de 17 kg/ha na produção do milho por cada kg/ha de P₂O₅ aplicado.

Nos quatro cultivos sucessivos (Fig. 1), obteve-se a produção total de 7,7 t/ha no tratamento de 200 kg/ha de P₂O₅, correspondendo ao aumento de 6,6 t/ha sobre o tratamento isento de P. A diferença de 0,5 t/ha na produção total entre 200 e 400 kg/ha de P₂O₅ não justificaria os insumos adicionais de fertilizante, durante estes quatro cultivos.

Nas Fig. 2 e 3, encontram-se as relações entre o rendimento relativo e P extraído do solo, em cada cultivo, pelos extratores Mehlich I e Bray 1, respectivamente. Foi utilizada regressão linear considerando 1/P como variável independente, à semelhança de outros estudos na região Sul do país (Raij et al. 1982 b). As equações de regressão utilizadas encontram-se na Tabela 4. Utilizaram-se re-

gressões separadas para as culturas de milho e caupi, quando se constatava que os coeficientes destas equações eram significativamente diferentes dos coeficientes das regressões para as duas culturas em conjunto. Os coeficientes de determinações para as regressões, incluindo as duas culturas, foram 0,72 e 0,55, respectivamente, para os extratores Mehlich I e Bray 1.

As curvas relacionando a produção relativa a P disponível no solo têm sido utilizadas para definir faixas de P disponível com respostas esperadas à adubação fosfatada (Raij et al. 1982 a), ou níveis críticos de P no solo acima do qual não se esperam respostas viáveis ao nutriente aplicado (Lobato 1982). Esses valores encontram-se normalmente entre 70% e 90% da produção máxima. Utilizando-se o nível de 80% da produção máxima como critério de seleção, os níveis de P extraídos do solo pela solução Mehlich I seriam 7 ppm e 11 ppm para milho e caupi, respectivamente. Com a solução de Bray 1, obtiveram-se 9 ppm e 22 ppm de P disponível no solo para as culturas de milho e caupi, respectivamente, usando-se o mesmo nível de produção. O nível crítico de P encontrado para milho, neste estudo, com o extrator Mehlich I, corresponderia às faixas de disponibilidade média no Estado de São Paulo e baixa no Estado do Paraná, conforme resultados compilados por Raij et al. (1982 a). Com o mesmo extrator, o nível encontrado para o caupi corresponderia ao limite inferior da faixa média de disponibilidade para a região Nordeste (Cabala-Rosand et al. 1982).

Os resultados mostraram maior extração de P do solo pelo extrator Bray 1 que pelo Mehlich I. A complexação de Al pelo íon F na solução Bray 1 (0,25N HCl + 0,03N NH₄F) (Kamprath &

TABELA 3. Equações de regressão utilizadas para descrever as relações entre produções de grãos em kg/ha (\bar{Y}) e kg/ha de P₂O₅ (X), aplicados a lanço, em 1981 (Latossolo Amarelo álico).

Cultura	Ano agrícola	Equação ^a	R ²
Milho	82/83	$\bar{Y} = 558,08 + 17,38^{**} X - 0,03^{**} X^2$	0,81
	83/84	$\bar{Y} = 11,54 + 17,11^{**} X - 0,03^{**} X^2$	0,87
Caupi	1982	$\bar{Y} = 197,40 + 121,64^{**} (X)^{1/2} - 2,73^{*} X$	0,85
	1983	$\bar{Y} = 45,36 + 2,95^{**} X$	0,87

^a Asteriscos denotam coeficientes significativos pelo teste t, aos níveis de 5% e 1%, respectivamente.

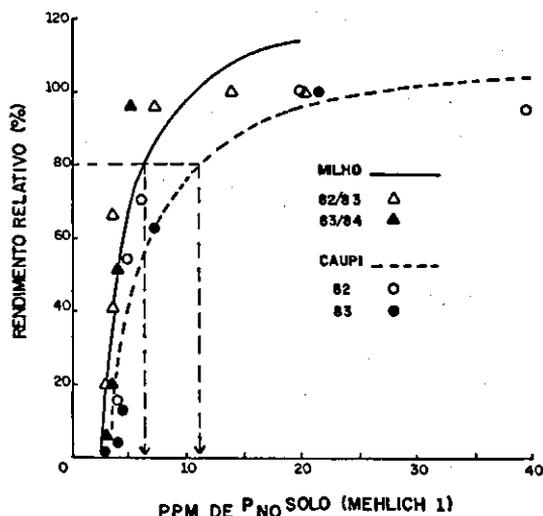


FIG. 2. Relação entre teores de P no Latossolo Amarelo álico, extraídos pela solução Mehlich 1, e rendimento relativo de grãos de milho e caupi, durante quatro cultivos sucessivos.

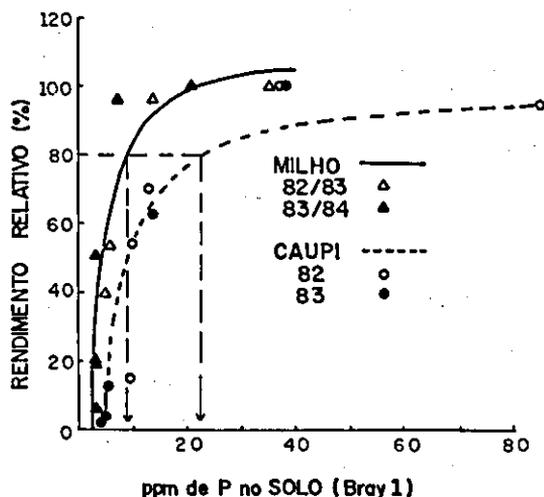


FIG. 3. Relação entre teores de P no Latossolo Amarelo álico extraído pela solução Bray 1 e rendimento relativo de grãos de milho e caupi, durante quatro cultivos sucessivos.

TABELA 4. Equações lineares de regressão entre o rendimento relativo \hat{Y} (%) de duas culturas de milho e duas culturas de caupi e P extraído do solo (Latossoilo Amarelo álico) x (ppm) pelos extratores Mehlich I e Bray 1 (Latossoilo Amarelo álico).

Extrator de P	Cultura	Equação de regressão ^a	R ²
Mehlich I	Milho	$\hat{Y} = 130,08 - 313,71^{***} (1/X)$	0,79
	Caupi	$\hat{Y} = 113,68 - 367,96^{**} (1/X)$	0,89
Bray 1	Milho	$\hat{Y} = 111,56 - 266,88^{**} (1/X)$	0,74
	Caupi	$\hat{Y} = 99,76 - 451,78^{**} (1/X)$	0,86

^a Asteriscos denotam coeficientes significativos pelo teste t ao nível de 1%.

Watson 1980) indica a importância dos compostos de Al, neste solo, como fixador de P aplicado. Le Mare (1982) observou que o Al, neste solo, proporcionou melhores relações que Fe com os teores de P³² trocável.

As relações entre o rendimento relativo e o teor de P nas folhas das culturas no estágio de floração encontram-se na Fig. 4. No nível de 80% da produção máxima, que corresponde aos níveis críticos estabelecidos para P no solo, as concentrações de P nas folhas encontravam-se nas faixas de 0,20% - 0,22% e 0,22% - 0,27% de P para as culturas de milho e caupi, respectivamente. Os valores obtidos

para o milho estão abaixo da faixa de suficiência citada na literatura (Jones 1967). O limite inferior da faixa de suficiência, normalmente se define como a concentração de P abaixo da qual se obtém decréscimos em produção (Jones & Eck 1973). As concentrações foliares de P no milho, ao nível de produção máxima, foram de 0,29% e 0,32% de P, sendo estes valores superiores ao limite inferior da faixa de suficiência.

As relações (dois meses após a aplicação) entre níveis de P₂O₅ e P disponível no solo, pelos métodos Mehlich I e Bray 1, encontram-se na Fig. 5. Considerando-se os níveis críticos de P no solo,

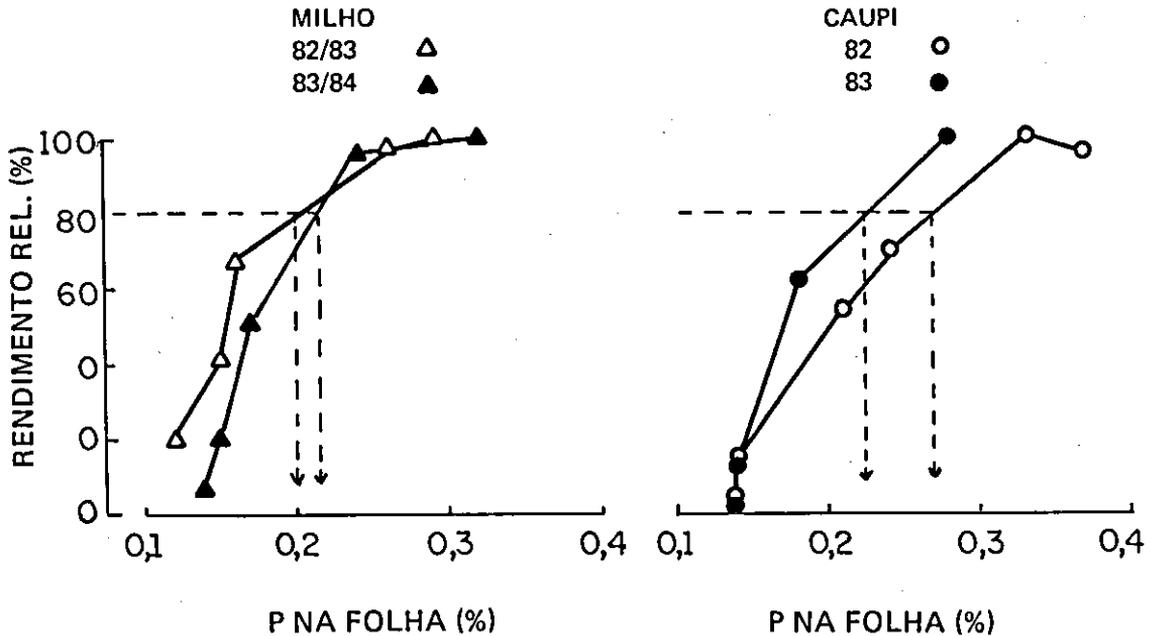


FIG. 4. Relação entre rendimento relativo de grãos de milho e caupi e teores foliares de P, nos estádios de embonecação para o milho e floração para o caupi (Latossolo Amarelo álico).

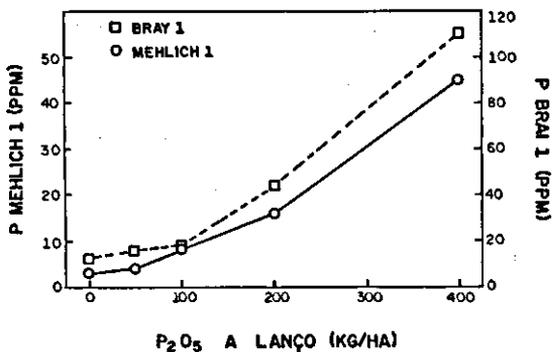


FIG. 5. Teores de P extraídos do Latossolo Amarelo álico pelos métodos Mehlich I e Bray I, em função de níveis de P₂O₅ aplicados dois meses antes.

encontrados para estes extratores, deduz-se que seria necessário aplicar 100 kg/ha de P₂O₅ para o primeiro cultivo de milho neste solo. Observou-se, porém, nos plantios sucessivos, que este nível de P₂O₅ não manteve produções satisfatórias (Fig. 1), devido ao decréscimo em P disponível com o tempo de cultivo (Fig. 6).

Para a rotação de milho-caupi, utilizada no estudo, os resultados contidos na Fig. 6 sugerem que o nível de 100 kg/ha de P₂O₅ manteria o teor de P

no solo próximo ao recomendado apenas para o primeiro cultivo. Com 200 kg/ha de P₂O₅ seriam possíveis três cultivos sucessivos antes que P no solo diminuísse a valores inferiores ao recomendado. Após cinco cultivos sucessivos, P disponível no tratamento de 400 kg/ha de P₂O₅ manteve-se superior aos níveis recomendados para o milho e caupi.

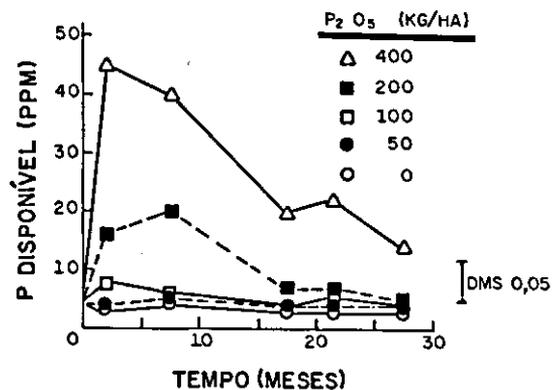


FIG. 6. Níveis de P extraídos do Latossolo Amarelo álico (método Mehlich I) em função do tempo, após a aplicação de cinco níveis de P₂O₅.

CONCLUSÕES

1. Os níveis de P disponível no solo pelo método de Mehlich I para a obtenção de 80% da produção máxima foram 7 ppm e 11 ppm para milho e caupi, respectivamente. Com o método Bray 1, obtiveram-se as mesmas produções com teores de P no solo de 9 ppm para o milho, e 22 ppm para o caupi.

2. Na época de embonecamento do milho e floração do caupi, as concentrações foliares de P, ao nível de 80% da produção máxima, encontravam-se na faixa de 0,20% - 0,22% e 0,22% - 0,27%, respectivamente, para o milho e caupi.

3. A aplicação de 100 kg/ha de P_2O_5 manteve P disponível no solo próximo ao recomendado apenas para o primeiro cultivo de milho. Com 200 kg/ha de P_2O_5 obtiveram-se teores de P no solo inferiores ao recomendado após três cultivos da rotação milho-caupi. Após cinco cultivos sucessivos, a única dose capaz de manter a disponibilidade de P acima do nível crítico foi de 400 kg/ha de P_2O_5 .

REFERÊNCIAS

- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, M.B.M. & SANTANA, C.J.L. Adubação fosfatada na região Nordeste. In: OLIVEIRA, A.J. de, ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.241-96.
- COCHRANE, T.T. & SANCHEZ, P.A. Land resources, soils and their management in the Amazon regions; a state of knowledge report. In: HECHT, S., ed. Amazônia: agriculture and land use research; proceedings. Cali, CIAT, 1982. p.137-209.
- COLWELL, J.D. The optimal use of fertilizers. Brasília, EMBRAPA-DMQ, 1981. 55p. (EMBRAPA-DMQ, A-50).
- CRUZ, E. de S.; COUTO, W.S.; OLIVEIRA, R.F. de & DUTRA, S. Adubação fosfatada na região Norte. In: OLIVEIRA, A.J. de, ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.297-326.
- DOSES econômicas de NPK em Latossolo Amarelo argiloso no Estado do Amazonas para as culturas de caupi e milho em rotação. *Relat. téc. anu. UEPAE Manaus*, 1982. p.283-5.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1979.
- JONES, J.B. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: SOIL testing and plant analysis. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1967. pt. 2, p. 49-58. (SSSA Spec. Publ., 2).
- JONES, J.B. & ECK, H.V. Plant analysis as an aid in fertilizing corn and sorghum. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., ed. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1973. cap. 21, p.349-64.
- KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., ed. The role of phosphorus in agriculture; proceedings. Madison, Am. Soc. Agron., 1980. p.433-69.
- LE MARE, P.H. Sorption of isotopically exchangeable and nonexchangeable phosphate by some soils of Colombia and Brazil, and comparisons with soils of Southern Nigeria. *J. Soil Sci.*, 33:691-707, 1982.
- LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, A.J. de, ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.201-39.
- MURPHY, J. & RILEY, J.R. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27 31-6, 1962.
- OLSEN, S.R. & DEAN, L.A. Phosphorus. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. pt. 2, p.1035-49.
- RAIJ, B. van; CABALA-ROSAND, P. & LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil; apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A. J. de, ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982a. p.9-28.
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T. & CARMELLO, Q.A.C. Adubação fosfatada no Estado de São Paulo. In: OLIVEIRA, A.J. de, ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982b. p.103-36.
- SMYTH, T.J. & BASTOS, J.B. Alterações na fertilidade de um Latossolo Amarelo álico pela queima da vegetação. *R. bras. Ci. Solo*, 8:127-32, 1984.