



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA — MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU

1º Simpósio
do Trópico Úmido

1st Symposium
on the Humid Tropics

1er Simposio
del Trópico Húmedo

ANAIS
PROCEEDINGS
ANALES

Volume I

CLIMA e SOLO

CLIMATE and SOIL

CLIMA y SUELO

BELEM - PARÁ - BRASIL

1986



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA — MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária — EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido — CPATU

1º Simpósio do Trópico Úmido

1st Symposium
on the Humid Tropics

1^{er} Simpósio
del Trópico Húmedo

Belém, Pará, 12 a 17 de Novembro de 1984

Belém, November 12 through 17, 1984

Belém, 12 a 17 de novembre de 1984

ANAIS PROCEEDINGS ANALES

Volume I

CLIMA e SOLO

CLIMATE and SOIL

CLIMA y SUELO

BELÉM - PARÁ - BRASIL



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA — EMBRAPA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisas do Tópico Úmido — CPATU

EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à
EMBRAPA-CPATU

Trav. Dr. Enéas Pinheiro s/n

Telefone: 226-6622

Telex: (091) 1210

Caixa Postal, 48

66000 Belém, PA - Brasil

Tiragem: 1.000 exemplares

Observação

Os trabalhos publicados nestes anais não foram revisados pelo Comitê de Publicações do CPATU como normalmente se procede para as publicações regulares. Assim sendo, todos os conceitos e opiniões emitidos são de inteira responsabilidade dos autores.

Simpósio do Trópico Úmido, I, Belém, 1984.

Anais. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1986.

6v. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 36)

I. Agricultura — Congresso — Trópico. I. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, Belém, PA, II. Título. III. Série.

CDD: 630.601

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NATURAIS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Emmanuel de Souza Cruz¹, Raimundo Freire de Oliveira¹,
Ramendra Singh², Nilson Pinto de Oliveira³, Areolino de Oliveira Matos¹
e Waldemar de Almeida Ferreira⁴

RESUMO: Os altos custos dos fosfatos industrializados têm contribuído para restringir o uso desses insumos na Amazônia, o que condiciona a busca de fontes alternativas de P. Neste trabalho foram testadas as eficiências agronômicas dos fosfatos de alumínio das ocorrências jandiá, pirocaua, traúra superior, traúra inferior e itacupim, todos na Amazônia Oriental, calcinados a 970°C, e do fosfato de araxá, não calcinado. As doses de 0, 200, 400 e 600 kg de P₂O₅ total/ha foram utilizadas tanto para o superfosfato triplo, que serviu de fonte de referência, como para as demais fontes, à exceção do itacupim e do araxá, não aplicados na maior dose. Através da sucessão de cultivos de milho/caupi/milho, foi evidenciado que pirocaua, jandiá, traúra superior e traúra inferior apresentaram maior eficiência agronômica que itacupim e araxá. O efeito residual do P das fontes mais eficientes, na dose de 400 kg de P₂O₅/ha, foi suficiente para manter rendimentos elevados nos cultivos sucessivos de caupi/milho. Esse efeito foi confirmado com as análises de solo, para P total e disponível (Bray 1). Análises físico-químicas de solo evidenciaram que o aumento dos níveis de P foi acompanhado pelo aumento do pH e da saturação de bases, e pelo decréscimo da saturação de Al³⁺. Tal comportamento não ocorreu com os fosfatos de araxá e traúra inferior. Observou-se a tendência do aumento da CTC (pH 8,2) em quase todos os tratamentos de fosfatos, o que é normalmente constatado quando altas doses de P são aplicadas no solo. As aplicações de P não mostraram qualquer efeito na disponibilidade de Zn, Cu, Fe e Mn extraídos pelo DTPA 0,005M (pH, 7,3).

Termos para indexação: Fosfato natural, fontes de fósforo, adubação fosfatada, efeito residual, índice de eficiência agronômica, milho e caupi.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF NATURAL PHOSPHATES IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT: High costs of commercial phosphates have restricted their use in the Amazon region, which has pressed the need to find alternative sources of P. In this study, the agronomic efficiency of natural aluminum phosphates whose deposits have been found in the eastern Amazon region viz. jandiá, pirocaua, traúra inferior, traúra superior and itacupim, all calcinated at 970°C, and of uncalcinated phosphate of araxá was tested. P was applied at the rates of 0, 200, 400 and 600 kg P₂O₅/ha, based on total P₂O₅ content of the P sources, including triple superphosphate used as reference. In the case of itacupim and araxá, the highest dose of P was not applied. Field experiments with crop sequence of corn-cowpea-corn showed higher agro-

¹ Eng. Agr. M.Sc. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal, 48, CEP 66000, Belém, PA.

² Ph.D. especialista em Fertilidade de Solo Convênio IICA/EMBRAPA. CPATU, Caixa Postal 48, CEP 66000, Belém, PA.

³ Geol. Ph.D. UFPA-Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Caixa Postal 1161, CEP 66000, Belém-PA.

⁴ Quím. Ind. M.Sc. EMBRAPA-CPATU, Caixa Postal 48, CEP 66000, Belém-PA.

onomic efficiency for pirocaua, jandiá, trauíra superior and trauíra inferior than itacupim and araxá. The residual effect of the P applied at the dose of 400 kg P₂O₅/ha through efficient sources was sufficient to maintain high yield of successive crops of cowpea and corn. This effect was also confirmed by the soil analyses for total P and available P (Bray 1). Analyses of physico-chemical properties of the soil showed that an increase in level of P was accompanied by an increase in pH and in base saturation and by a decrease in Al³⁺ saturation. Such changes were not observed in the case of the phosphate of araxá and trauíra inferior. In all phosphate treatments, a tendency of increase in CTC (pH 8.2) was observed due to an increase in P doses. There was no effect of applied P on available Zn, Cu, Fe and Mn extracted by 0.005M DTPA (pH 7.3).

Index terms: Natural phosphates, phosphate sources, phosphate fertilization, residual effect, agronomic efficiency index, corn and cowpea.

INTRODUÇÃO

No trópico úmido brasileiro ocorrem solos representativos com teores muito baixos de fósforo disponível, dentre os quais predominam os Latossolos (Falesi et al. 1969, 1970, 1972; Vieira et al. 1967 e Rego et al. 1973). Segundo Vieira (1971) e Singh et al. (1983), em alguns desses solos o teor de fósforo total não atinge 400 ppm.

A adubação fosfatada nesses solos possibilita aumentar significativamente a produtividade de plantas cultivadas na Amazônia, segundo constataram Cruz et al. 1971, 1982 e Serrão et al. 1971.

As zonas bragantina e guajarina, no nordeste do Estado do Pará, se enquadram nessas condições, além de possuírem o maior índice de densidade demográfica do Estado com 59,69% (Santos & Homma 1980) e contribuir com altos percentuais para a produção agrícola.

Os altos custos dos adubos industrializados têm contribuído para restringir o uso de fertilizantes na Amazônia. Uma opção para tentar solucionar tal impasse consiste no uso de fontes alternativas de fósforo como os fosfatos naturais (Feitosa et al. 1978 e Korndörfer 1978).

A identificação de quatorze ocorrências de fosfatos aluminosos na Amazônia Oriental (Monteiro & Oliveira 1982) despertou o interesse pelo estudo agrônomico dessas fontes de fósforo, principalmente por es-

tares localizadas bem próximas de grandes áreas potenciais de consumo (Fig. 1).

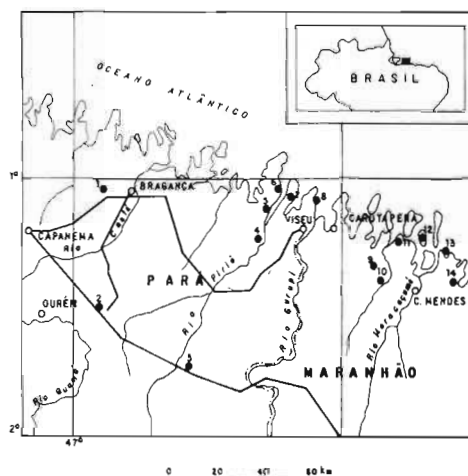


FIG. 1. Ocorrências de fosfatos: Jandiá (1) Santa Luzia (2) Cansa perna (3) Serra do Piriá (4) Serra Barreira (5) Peito de Moça (6) Itacupim (7) Pedra Grande (8) Serra Oca (9) Serra Tromaf (10) Pirocaua (11) Tralhoto (12) Trauíra (13) e Cumã (14) Fonte: Anais do 3º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia, 1982.

Neste trabalho objetiva-se evidenciar a eficiência agrônomicamente dos fosfatos naturais de trauíra e pirocaua ocorrentes no município de Cândido Mendes, no Estado do Maranhão, e itacupim no município de Viséu e jandiá no município de Bragança, no Pará. Estima-se que a cubagem desses depósitos totaliza mais de 30 milhões de toneladas. Individualmente são conhecidas apenas as cubagens de pirocaua, 8.700.000 t e trauíra, 8.200.000 t, segundo Sakamoto & Vargas (1956).

MATERIAL E MÉTODOS

Os fosfatos naturais de jandiá, pirocaua, itacupim e trauíra, este último subdividido em horizonte fosfático superior e horizonte fosfático inferior (Oliveira 1980), são todos de origem laterítica (Schwab et al. 1983).

Nessas ocorrências, os principais fosfatos são: crandallita — $(Ca, Sr) Al_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$; augelita — $Al_2(PO_4)(OH)_3$; senegalita — $Al_2(PO_4)(OH)_3 \cdot H_2O$; e wardita — $NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 2H_2O$ (Monteiro & Oliveira 1982). De acordo com Costa et al. (s.d.), a crandallita é o mineral predominante nas ocorrências de jandiá, itacupim e no horizonte superior da ocorrência de trauíra. A wardita predomina no horizonte inferior do depósito de trauíra, enquanto que os fosfatos de alumínio augelita e senegalita são os principais constituintes minerais da ocorrência de pirocaua.

Os fosfatos de todas essas ocorrências estão sempre associados a óxidos e hidróxidos de ferro, principalmente hematita (Fe_2O_3) e goethita ($FeOOH$), os quais são particularmente abundantes na ocorrência de itacupim (Schwab et al. 1983).

A coleta do material foi realizada segundo as condições peculiares de cada ocorrência. Em jandiá e pirocaua utilizaram-se, na amostragem, poços verticais que cortam todo o horizonte fosfático. Em itacupim, a amostragem foi feita nos flancos da elevação principal da ilha, nos quais o horizonte fosfático está aflorante. Finalmente, em trauíra foram coletadas amostras nos flancos da ilha, em poços e em um túnel de 80 m de extensão que existe no local. Esse procedimento garantiu a coleta de amostras representativas dos fosfatos estudados.

O material coletado foi triturado com uso de martelo, submetido a moinho de rolos e passado através da peneira de 60 mesh, quando então foi calcinado a $970^\circ C$. Após este beneficiamento foram determinados os teores de P_2O_5 total de cada fosfato.

Desde 1983 está sendo conduzido um experimento, com o cultivo de milho seguido de caupi, em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa, ocorrente no Campo Experimental do CPATU $1^\circ 12'$ de latitude sul e $47^\circ 04'$ de longitude oeste, no município de Capitão Poço, Estado do Pará. No ano anterior, após a queimada da vegetação de mata, a área experimental foi cultivada com arroz sucedido por caupi, sem qualquer adubação, visando-se ao nivelamento da fertilidade do solo.

O delineamento experimental é inteiramente casualizado, com três repetições e os seguintes tratamentos: Testemunha; adubação nitrogenada (60 kg de N/ha) mais adubação potássica (40 kg de K_2O /ha); superfosfato triplo; jandiá; pirocaua; trauíra superior e trauíra inferior; todos nas doses de 200, 400 e 600 kg de P_2O_5 total/ha; e itacupim; e araxá (não calcinado), ambos nas doses de 200 e 400 kg de P_2O_5 total/ha, em face da quantidade disponível ser insuficiente.

Todos os tratamentos com aplicação de fósforo receberam adubações nitrogenada e potássica em doses constantes destes nutrientes, exceto para a testemunha. O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia por ocasião do plantio do milho e aos 23 dias após, em duas porções iguais, correspondentes a 25% da dose total, e os 50% restantes aos 44 dias. O potássio na forma de cloreto, em duas porções iguais misturadas com o nitrogênio das segunda e terceira aplicações. A primeira aplicação do nitrogênio foi feita no sulco de plantio e as demais, em cobertura acompanhando a linha de cultivo. Todos os fosfatos foram aplicados de uma só vez, a lanco e incorporados com enxada à profundidade de 10 cm. Para o cultivo do caupi foi aplicada adubação potássica em cobertura na dose de 40 kg de K_2O /ha, de uma só vez, dez dias após a semeadura, acompanhando lateralmente a linha das plantas.

A cultivar de milho BR-5102 foi utilizada como planta indicadora, no espaçamento de 1,00 m x 0,40 m, com duas plan-

tas por cova. Para o caupi foi utilizada a cultivar IPEAN-V-69, semeada no espaçamento de 0,50 m x 0,30 m, permanecendo duas plantas por cova após o desbaste. As semeaduras dos cultivos da sucessão milho/caupi/milho foram realizadas, respectivamente, em janeiro de 1983, junho de 1983 e fevereiro de 1984.

Para determinação do índice de eficiência agrônômica (IEA) dos fosfatos em estudo, calculou-se a relação percentual entre o rendimento na presença de cada fonte e o obtido com o superfosfato triplo na mesma dose de P_2O_5 , após deduzir-se o rendimento da testemunha, tanto para o milho como para o caupi.

Antes da instalação do experimento foi coletada uma amostra composta representativa do solo da área experimental para determinação de P disponível e de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis, além do pH_{H_2O} , conforme os métodos analíticos descritos por Vettori (1969).

Com vistas ao acompanhamento das modificações sofridas pelo solo em suas propriedades químicas e físicas, foram coletadas, em abril de 1983 e janeiro de 1984, amostras compostas da camada superficial (0-10 cm), para determinação de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+} trocáveis e Cu, Zn, Fe e Mn disponíveis, capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 8,2, pH_{H_2O} e pH_{KCl} , C orgânico e P disponível. Foi efetuada, também, a determinação da argila visando a justificar o comportamento de algumas dessas modificações.

As amostras de solo, coletadas nas parcelas experimentais por meio de uma espátula de madeira, foram secadas ao ar e passadas em peneira de aço inoxidável com malha de 1 mm.

As análises para a caracterização físico-química foram feitas pelos métodos descritos por Guimarães et al. (1970). A capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 8,2 foi obtida utilizando-se o Na como índice (Hesse 1971). Para a extração do P disponível utilizou-se o extrator Bray 1 (HCl 0,025N + 0,03N NH_4F), sendo determinado pelo método de Murphy e Riley modificado (Watanabe & Olsen 1965). O P total foi estimado pelo método citado pela Empresa... (1979).

Os micronutrientes Zn, Cu, Mn e Fe disponíveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica no extrato de DTPA 0,005M (pH 7,3).

Os dados de rendimentos da sucessão de cultivos milho/caupi/milho, bem como os resultados referentes à disponibilidade de micronutrientes no solo, foram analisados estatisticamente, segundo métodos descritos por Snedecor & Cochran (1967).

RESULTADOS

Os teores de fósforo total, solúvel em ácido cítrico e solúvel em citrato mais água, CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e SiO_2 determinados nos fosfatos calcinados a $970^\circ C$, são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Teores de fósforo total, solúvel em ácido cítrico e solúvel em citrato mais água, CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e SiO_2 determinados nos fosfatos calcinados a $970^\circ C$ (CPATU 1983).

Fosfato	P_2O_5			CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2
	Total*	Solúvel em Ac. cítrico	Solúvel em citrato + H_2O				

* O fósforo total foi determinado no laboratório de solos do CPATU, enquanto as demais análises foram feitas no laboratório de química agrícola da ULTRAFERTIL S/A.

A análise da camada superficial do solo, antes da instalação do experimento, indicou 4 ppm de P disponível (baixo), 50 ppm de K⁺ (médio), 1,8 meq de Ca²⁺/100 g (médio), 0,7 meq de Mg²⁺/100g (médio), 0,0 meq de Al³⁺/100 g (baixo) e pH_{H₂O} de 5,3 (fortemente

ácido).

Na Tabela 2 são mostrados os rendimentos em kg/ha, os índices de eficiência agrônômica (IEA) e do equivalente supertríplo (EqST), da sucessão de cultivos milho/caupi do primeiro ano (1983) e do cultivo de milho do segundo ano (1984).

TABELA 2. Rendimentos de milho e de caupi, índices de eficiência agrônômica (IEA) e de equivalente supertríplo (EqST) obtidos com fosfatos naturais da Amazônia Oriental em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983/1984).

Tratamento	P ₂ O ₅ total kg/ha	Milho						Caupi		
		1983 (1º cultivo)			1984 (3º cultivo)			1983 (2º cultivo)		
		Rend. kg/ha	IEA(1) %	EqST(2) %	Rend. kg/ha	IEA(1) %	EqST(2) %	Rend. kg/ha	IEA(1) %	EqST(2) %
Superfosfato triplo	200	4.549	100	-	3.010	100	-	1.261	100	-
	400	5.235	100	-	2.777	100	-	1.434	100	-
	600	4.655	100	-	3.181	100	-	1.425	100	-
Pirocaua	200	3.956	79	66	1.974	24	64	805	59	43
	400	4.178	69	39	2.284	57	43	1.189	81	42
	600	4.533	96	33	2.620	64	37	1.245	86	31
Jandiá	200	4.328	92	84	2.079	32	69	1.193	94	88
	400	3.830	59	31	2.467	73	59	1.348	93	63
	600	4.413	92	30	2.075	28	23	1.306	91	38
Trauíra superior	200	3.675	69	55	2.133	36	74	736	53	38
	400	4.454	77	47	2.143	44	37	1.285	88	53
	600	4.488	94	32	1.566	-5	-10	1.302	90	38
Trauíra inferior	200	4.031	81	70	2.497	62	100	1.146	90	78
	400	3.878	61	32	2.185	48	38	1.110	75	32
	600	4.340	89	29	2.058	27	23	1.101	75	24
Itacupim	200	3.995	80	69	1.530	-8	33	540	32	23
	400	4.069	66	36	2.050	36	33	705	44	17
Araxá	200	3.734	71	58	1.983	25	63	438	26	16
	400	2.842	31	14	2.270	55	42	479	26	9
Testemunha	0	1.778	-	-	1.643	-	-	143	-	-
NK (3)	0	1.220	-	-	217	-	-	12	-	-

$$(1) IEA = \frac{\text{Rendimento fonte X} - \text{rendimento testemunha}}{\text{Rendimento supertríplo} - \text{rendimento testemunha}} \times 100$$

(2) EqST = Relação percentual entre dose de supertríplo e dose de outra fonte que corresponde ao mesmo rendimento, calculado conforme ilustrado para o fosfato de pirocaua (Fig. 2).

(3) N = 60 kg de N/ha e K = 40 kg de K₂O/ha (milho), e 40 kg de K₂O/ha (caupi).

Os rendimentos de milho e de caupi, obtidos com as diferentes doses aplicadas de P₂O₅ total, proporcionaram curvas de produção conforme é mostrado na Fig. 2.

A análise estatística dos rendimentos do primeiro, segundo e terceiro cultivos indicou, respectivamente, os C.V. de 16,0%, 24,3% e 21,3%.

Os resultados referentes a modificações ocorridas nos teores de P disponível e total da camada superficial do solo (0-10 cm), em duas épocas de amostragem, são apresentados na Tabela 3.

Na Tabela 4 são mostrados os resulta-

dos de pH em H₂O e KCl, argila, C orgânico e de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H⁺ e Al³⁺ trocáveis, obtidos na camada superficial do solo. Os resultados da soma de bases (S), CTC efetiva (T) e a CTC (pH 8,2), saturação de bases (V) e saturação de Al³⁺, calculados com base nos dados da Tabela 4, são apresentados na Tabela 5.

Os teores de Cu, Zn, Fe e Mn disponíveis constam da Tabela 6, bem como o efeito entre tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade e o coeficiente de variação (C.V.), considerando-se isoladamente cada micronutriente.

DISCUSSÃO

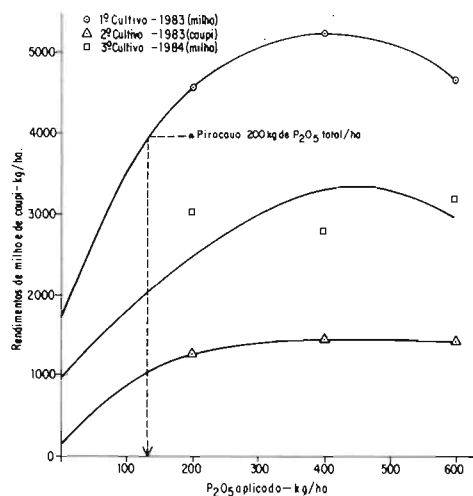


FIG. 2. Curvas de rendimento de milho e de caupi estabelecidas para o primeiro, segundo (efeito residual) e terceiro cultivos, em função das doses de P_2O_5 aplicado como superfosfato triplo (a inclusão de um ponto com o fosfato de pirocaua serve para ilustrar o cálculo do EqST).

A eficiência agrônômica dos fosfatos de pirocaua, jandiá, trauíra superior, trauíra inferior e itacupim foi avaliada em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa, de baixa fertilidade natural, conforme indicam os resultados da análise da camada superficial do solo antes da instalação do experimento. A adubação fosfatada nesse solo com doses crescentes de P_2O_5 mostrou acréscimos de rendimentos no primeiro cultivo de milho (Tabela 2), confirmando resultados obtidos por (Cruz et. al. 1971, 1982 e Serrão et al. 1971), em outros solos com baixos teores de P disponível.

Os índices de eficiência agrônômica (IEA) obtidos no primeiro cultivo de milho, para todos os fosfatos, nas doses de 200, 400 e 600 kg de P_2O_5 total/ha, mostraram-

TABELA 3. * Resultados referentes a modificações ocorridas nos teores de P disponível e total na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa em duas épocas de amostragem (Capitão Poço 1983/1984).

Tratamento	P_2O_5 total kg/ha	P disponível (Bray 1)		P total	
		04/1983	01/1984	04/1983	01/1984
		ppm			
Superfosfato triplo	200	19,8	10,4	170,3	150,7
	400	83,7	22,1	314,7	181,7
	600	138,9	32,8	403,7	214,7
Pirocaua	200	23,7	7,6	192,3	154,3
	400	69,4	20,5	319,7	173,7
	600	169,6	59,2	490,7	311,0
Jandiá	200	25,4	13,2	198,3	164,3
	400	73,4	20,8	283,7	197,3
	600	114,8	51,2	442,3	271,0
Trauíra superior	200	24,6	11,1	204,7	155,7
	400	28,2	39,1	204,3	256,7
	600	74,0	45,5	348,7	263,7
Trauíra inferior	200	23,9	15,7	207,7	196,7
	400	37,1	32,8	203,3	244,3
	600	147,4	33,5	393,0	241,3
Itacupim	200	14,0	6,4	198,7	150,7
	400	21,3	10,4	254,7	203,3
Araxá	200	6,7	4,7	189,7	160,3
	400	6,3	5,2	202,3	207,3
Testemunha	0	5,8	5,1	139,7	144,7
NK	0	6,6	5,8	151,3	150,3

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições, referentes à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

TABELA 4. * Resultados referentes a modificações ocorridas em algumas propriedades físicas e químicas do solo na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983).

Tratamento	P_2O_5 total kg/ha	pH		Argila	C orgânico	Cátions trováveis				
		H ₂ O	KCl			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H ⁺	Al ³⁺
Fosfato					%	meq/100g				
Superfostato triplo	200	5,3	4,5	24	1,52	2,19	0,29	0,07	3,91	0,30
	400	6,2	5,6	19	1,42	4,58	0,30	0,09	2,24	0,01
	600	6,3	5,6	18	1,42	4,16	0,40	0,08	2,31	0,00
Pirocaua	200	5,7	5,2	22	1,49	2,94	0,29	0,07	3,27	0,10
	400	6,2	5,8	17	1,60	4,89	0,39	0,08	2,47	0,00
	600	6,2	5,8	16	1,69	4,72	0,25	0,05	1,90	0,10
Jandiá	200	5,6	5,1	21	1,26	3,16	0,28	0,07	2,55	0,20
	400	6,0	5,5	20	1,20	3,19	0,26	0,06	2,31	0,00
	600	5,7	5,3	21	1,45	3,69	0,25	0,09	2,83	0,01
Trauíra superior	200	5,6	5,1	20	1,13	1,69	0,29	0,07	2,65	0,30
	400	5,9	5,5	20	1,21	2,06	0,41	0,07	2,31	0,00
	600	5,8	5,3	19	1,14	2,84	0,27	0,07	2,53	0,00
Trauíra inferior	200	6,5	6,1	20	1,19	2,82	0,44	0,07	1,54	0,00
	400	5,5	5,0	20	1,18	2,00	0,39	0,05	2,97	0,00
	600	5,8	5,3	22	1,31	2,14	0,36	0,08	2,30	0,07
Itacupim	200	5,2	4,6	19	1,25	2,06	0,20	0,05	3,26	0,20
	400	5,7	5,2	21	1,29	3,35	0,26	0,06	2,72	0,01
Araxá	200	5,8	5,3	21	1,05	1,92	0,37	0,07	2,14	0,00
	400	5,5	5,1	24	1,16	1,93	0,39	0,06	2,49	0,20
Testemunha	0	5,2	4,7	25	1,38	1,99	0,36	0,06	3,20	0,30
NK	0	5,6	5,1	23	1,26	2,85	0,27	0,06	3,26	0,20

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições, referente à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

se altos, variando de 59% a 96%, com exceção do fosfato de araxá que na dose de 400kg/ha foi de 31% (Tabela 2).

A relativamente baixa eficiência agrônômica apresentada pelo fosfato de araxá é atribuída ao fato de tratar-se de uma apatita que não foi submetida a tratamento térmico, como as demais fontes, razão pela qual possui baixa solubilidade de P (Körndorfer 1978 e Goedert & Lobato 1984).

Os resultados das análises de fósforo disponível pelo Bray 1, obtidos em amostras de solo coletadas em abril de 1983, durante o primeiro cultivo, mostraram que a aplicação do fosfato de araxá nas doses de 200 e 400 kg de P_2O_5 /ha não aumentou o fósforo disponível em relação à testemunha. Entretanto, foram verificados aumen-

tos de fósforo disponível para as demais fontes (Tabela 3).

Por outro lado, o araxá, como os demais fosfatos, também apresentou um efeito benéfico no sentido do aumento da CTC em relação à testemunha. Não tendo ocorrido alterações nos teores de M.O. e de argila, este aumento é atribuído à sorção de fósforo aplicado no solo, conforme Sawhney (1974), Prasad & Motto (1978) e Laverdiere (1982). Tal fato indica que os baixos IEA verificados para o fosfato de araxá provavelmente, foram decorrentes dos baixos teores de fósforo disponível (Tabela 2 e 3), que se mostraram abaixo da faixa de 8-15 ppm estabelecida por Smyth & Bastos (1984), para milho em Latossolo Amarelo álico de textura argilosa, também deficiente em fósforo.

TABELA 5. * Resultados de soma de bases (S), CTC efetiva (T) e CTC (pH 8,2), saturação de bases (V) e saturação de Al^{3+} obtidos na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983).

Tratamento	P_2O_5 total kg/ha	S	T	CTC (pH 8,2)	V	Saturação de Al^{3+}
Fosfato		-----	meq/100g	-----	-----	%
Superfosfato triplo	200	2,55	6,76	9,90	37,7	10,5
	400	4,97	7,22	10,76	68,8	0,0
	600	4,64	6,95	10,03	66,8	0,0
Pirocaua	200	3,30	6,67	9,78	49,5	2,9
	400	5,36	7,83	9,84	68,5	0,0
	600	5,02	7,02	10,21	71,5	2,0
Jandiá	200	3,51	6,26	9,04	56,1	5,4
	400	3,51	5,82	8,86	60,3	0,0
	600	4,03	6,87	10,09	58,7	0,2
Trauíra superior	200	2,05	5,00	9,72	41,0	12,8
	400	2,54	4,85	10,21	52,4	0,0
	600	3,18	5,71	10,70	55,7	0,0
Trauíra inferior	200	3,33	4,87	10,21	68,4	0,0
	400	2,44	5,41	9,72	45,1	0,0
	600	2,58	4,95	10,09	52,1	2,6
Itacupim	200	2,31	5,77	11,07	40,0	8,0
	400	3,67	6,40	10,57	57,3	0,3
Araxá	200	2,36	4,50	9,84	52,4	0,0
	400	2,38	5,07	11,07	46,9	7,8
Testemunha	0	2,41	5,91	8,68	30,5	11,0
NK	0	3,18	6,64	12,18	47,9	5,9

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições, referente à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

Análises de micronutrientes disponíveis em amostras de solo, coletadas em cada parcela experimental (Tabela 6), mostraram que os teores de Cu, Zn, Fe e Mn apresentaram-se, geralmente, acima dos níveis críticos estabelecidos por Lindsay & Norvell (1978). Por outro lado, a disponibilidade desses micronutrientes não foi alterada pela aplicação das várias fontes e doses de fósforo. Esse aspecto indica que o fator limitante da produtividade de milho foi a disponibilidade de fósforo e não de micronutrientes como, geralmente, ocorre quando altas doses de fósforo são adicionadas ao solo (Lindsay 1972 e Olsen 1972).

O equivalente supertriplo (EqST) decresceu com o aumento das doses de P_2O_5

em todas as fontes, sendo que os menores valores ocorreram para o fosfato de araxá, conforme observado com relação ao IEA. Tais decréscimos ocorreram devido às altas doses de P_2O_5 aplicado, que acarretaram o decréscimo dos rendimentos ao atingirem o ponto de máxima eficiência técnica, nas condições do experimento.

No cultivo sucessivo com caupi para avaliação do efeito residual dos fosfatos, o IEA também manteve-se alto, variando de 53% a 94% para os fosfatos de pirocaua, jandiá, trauíra superior e inferior. Para o itacupim e o araxá, variou de 26% a 44%. O EqST apresentou comportamento semelhante ao observado para o IEA em relação aos diferentes fosfatos.

TABELA 6. *Resultados referentes à disponibilidade de micronutrientes na presença de fontes e doses de P_2O_5 em Podzólico Vermelho Amarelo álico latossólico, textura média/argilosa (Capitão Poço 1983).

Tratamento	P_2O_5 total kg/ha	Cu	Zn	Fe	Mn
		----- ppm -----			
Superfosfato triplo	200	0,35	0,58	163,57	11,17
	400	0,42	1,03	123,33	18,72
	600	0,35	1,00	94,28	15,46
Pirocaua	200	0,31	0,93	124,94	9,13
	400	0,40	0,93	78,37	15,18
	600	0,33	1,08	62,24	11,55
Jandiá	200	0,42	0,74	107,42	12,66
	400	0,31	0,66	94,74	10,80
	600	0,37	0,82	103,50	13,60
Trauíra superior	200	0,26	0,61	108,57	10,25
	400	0,29	0,79	70,30	17,51
	600	0,38	0,72	77,68	14,90
Trauíra inferior	200	0,35	0,94	53,94	17,70
	400	0,27	0,71	125,17	8,45
	600	0,47	0,97	88,75	21,70
Itacupim	200	0,36	0,57	127,01	11,64
	400	0,42	0,70	104,65	12,57
Araxá	200	0,30	0,70	73,07	16,30
	400	0,29	0,78	100,27	11,73
Testemunha	0	0,39	0,86	95,89	6,42
NK	0	0,31	0,69	131,19	9,41
Efeito entre tratamentos**	-	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
C.V. (%)	-	21	43	46	46

* Média das amostras compostas de cada parcela das três repetições referente à camada superficial do solo, à profundidade de 0-10 cm.

** Ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que, enquanto no primeiro cultivo com milho o IEA do itacupim foi semelhante aos obtidos nos demais fosfatos calcinados, no segundo cultivo (caupi) foi substancialmente menor, aproximando-se inclusive do IEA do araxá, não calcinado. Este comportamento está compatível com os resultados de fósforo solúvel em ácido cítrico e em citrato mais água, referentes ao itacupim, considerados baixos em relação aos demais fosfatos, conforme Tabela 1, o que justifica o seu menor efeito residual

No terceiro cultivo implantado na área, correspondente ao segundo com milho, também visando a avaliar o efeito residual desses fosfatos, o IEA mostrou-se alto, ou se-

ja, acima de 60%, apenas para os fosfatos de pirocaua na dose de 600 kg de P_2O_5 /ha, jandiá na dose de 400 e trauíra inferior na de 200. Com relação ao itacupim e araxá, esses índices mantiveram-se baixos. Os valores do EqST comportaram-se semelhantemente aos obtidos para os cultivos anteriores, considerando-se os diferentes fosfatos, merecendo destacar que os seus valores sempre decresceram com o aumento das doses aplicadas de P_2O_5 .

A disponibilidade de fósforo (Bray 1), evidenciada em amostras de solo coletadas em janeiro de 1984, diminuiu em relação à amostragem efetuada em abril de 1983. Entretanto, no caso específico do itacupim,

na dose de 200 kg de P_2O_5 /ha, a disponibilidade de fósforo ficou abaixo do nível crítico do elemento determinado em solos semelhantes. Para o araxá, o nível de fósforo disponível, que na primeira amostragem estava abaixo do nível crítico, decresceu ainda mais na segunda amostragem.

Estes resultados comprovam que os valores altos de IEA e EqST observados para algumas fontes decorreram da liberação de fósforo disponível, em quantidades que permitiram o aumento da produtividade do terceiro cultivo em relação à testemunha.

Como este experimento continua em execução para avaliação do efeito residual dos fosfatos utilizados nesta pesquisa, abrangendo um maior período de tempo, somente serão possíveis outras considerações quando os dados de rendimento dos cultivos subseqüentes e de amostragens de solo estiverem disponíveis. Entretanto, com base nos dados de rendimento do terceiro cultivo, já discutidos neste trabalho, espera-se que não ocorram grandes alterações nas propriedades do solo.

Neste trabalho foram feitas considerações somente no que diz respeito ao teste biológico em face de se tratarem de fosfatos ainda não comercializados, o que impossibilitou uma estimativa de custos do produto beneficiado, prejudicando, portanto, a realização de uma análise econômica.

Os resultados assim obtidos permitiram concluir que os fosfatos de pirocaua, jandiá, traúira superior e traúira inferior, quando calcinados a 970°C, apresentaram maior eficiência agrônômica que o de itacupim também calcinado e araxá não calcinado. O efeito residual do P dessas fontes, na dose de 400 kg de P_2O_5 total/ha, apresentou-se suficiente para manter rendimentos elevados nos cultivos sucessivos de caupi/milho.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a colaboração prestada pelo Centro de Estudos de Fertilizantes-CEFER, do Instituto de Pesqui-

sas Tecnológicas do Estado de São Paulo que em suas instalações calcinou, a 970°C, o material moído das diferentes rochas fosfatadas utilizadas na condução desta pesquisa, sem qualquer ônus para a EMBRAPA-CPATU, pelos serviços prestados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, M.L. da; COSTA, W.A. de M. & SCHWAB, R. G. Mineralogia das ocorrências de fosfatos lateríticos do Pará e Maranhão (Brasil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, SC, 1980. Anais... s.n.t.. v.4, p. 1982-96.
- CRUZ, E. de S.; COUTO, W.S.; OLIVEIRA, R.F. de & DUTRA, S. Adubação fosfatada na região Norte. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J.; eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p. 297-314. (EMBRAPA-DID. Documentos, 21).
- CRUZ, E. de S.; SOUZA, G.F. & BASTOS, J.B. Influência de adubação NPK no milho em terra roxa estruturada (Altamira-zona do Xingu). Belém, IPEAN, 1971. 17p. (IPEAN. Fertilidade de Solos, 3).
- 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, 1979. n.p.
- FALESI, I.C.; BASTOS, T.X. & MORAES, V.H.F. Zoneamento agrícola da Amazônia; 1ª aproximação, Belém, IPEAN, 1972. 153p. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).
- FALESI, I.C.; CRUZ, E. de S.; PEREIRA, F.B.; LOPES, F. de C.; SILVA, B.N.R. da; ARAUJO, J.V.; GUIMARÃES, G. de A. & SILVA, R.P. da. Os solos da área I Manaus-Itacoatiara, Manaus, IPEAN, 1969, 117p. (IPEAN. Estudos e Ensaio 1).
- FALESI, I.C.; SILVA, B.N.R. da; ARAUJO, J.V.; RODRIGUES, T.E.; REGO, R. da S. & GUIMARÃES, G. de A. Os solos da área Cacaú-Pirera. Belém, IPEAN, 1970. 198p. (IPEAN. Solos da Amazônia, 3).
- FEITOSA, C.T.; RAIJ, B. Van; DE CHEN, A.R. & ALCARDES, J.C. Determinação preli-

- minar da eficiência relativa de fosfatos para trigo, em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo.** 2:193-5, 1978.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agromônica de fosfatos em solo de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo.** 8:97-102, 1984.
- GUIMARÃES, G. de A.; BASTOS, J.B. & LOPES, E. de C. **Métodos de análises física, química e instrumental de solos.** Belém, IPEAN, 1970. 108p. (IPEAN. Química de solos, v.1, n.1).
- HESSE, P.R. **A textbook of soil chemical analysis,** London, Murray, 1971. p. 101-2.
- KÖRNDORFER, G.H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo.** Porto Alegre, Secretaria de Coordenação e Planejamento, 1978.
- LAVERDIERE, M.R. Effects of phosphate additions on the charge properties of a Podzolic B horizon. **Can J. Soil Sci.,** Ottawa, 62(3): 519-25, 1982.
- LINDSAY, W.L. Zin in soils and plant nutrition. **Adv. Agron.** New York, 24:147-86, 1972.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developments of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 42:421-8, 1978.
- MONTEIRO, R.W. & OLIVEIRA, N.P. de. Estudo da solubilidade dos fosfatos de Pirocaua e Trauíra (MA) e Itacupim e Jandιά (PA) a diferentes temperaturas, visando ao seu aproveitamento agrícola. In: **ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA,** 3. Manaus, 1982. **Anais...** Manaus, Conselho Regional de Química - 6ª Região, 1982. p. 221-31.
- OLIVEIRA, N.P. de **Mineralogie and geochemie der phosphatführenden Latent von Itacupim and Trauíra, Nordbrasilien.** Erlangen, Univ. Erlangen, 1980. Tese doutorado.
- OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: NORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W. L. eds. **Micronutrients in agriculture; proceedings of a symposium.** Madison, Soil Science Society of America, 1972. p. 243-64.
- PRASAD, S.S. & MOTTO, H.L. Effect of P retention on C.E.C. and soluble Al and Si of some recent volcanic ash soils of Central America. In: **ANNUAL MEETINGS A.S.A.** Los Angeles, Nov. 1977. **Phosphorus in Agric.,** Paris, 32(74):31, 1978. Resumo.
- REGO, R.S.; VIEIRA, L.S.; AMARAL FILHO, Z.P. do; SANTOS, P.N. dos; LOPES, D.N.; REIS, C.P. dos; GAMA, J.R.N.F.; COSTA, M.F. da & SERRUYA, L.M. **Estudo detalhado dos solos em uma área do município de Capitão Poço.** Belém, IDESP, 1973. 119p. (IDESP Cadernos Paraenses, 9).
- SAKAMOTO, T. & VARGAS, L.F.C. Relatório preliminar sobre o depósito de bauxita fosfatada da Ilha de Trauíra, município de Cândido Mendes, Estado do Maranhão e relatório preliminar sobre o depósito de bauxita fosfatada no morro do Pirocaua, município de Cândido Mendes, Estado do Maranhão. s.l./s. ed./1956.
- SANTOS, A.I.M. dos & HOMMA, A.K.O. Regionalização do nordeste do Estado do Pará. **Relat. Téc. Anu. CPATU,** Belém, 1980. p.48.
- SAWHNEY, B.L. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.,** Madison, 38(1): 159-60, 1974.
- SCHWAB, R.G.: COSTA, M.L. da & OLIVEIRA, N.P. de. Über die Entwicklung von Bauxiten und Phosphate-lateriten der region Gurupi (Nordbrasilien). **Zbl. Geol. Paläont Teil I.** (3/4): 563-80, 1983.
- SERRÃO, E.A.S.; CRUZ, E. de S.; SIMÃO NETO, M.; SOUZA, G.F. de; BASTOS, J.B. & GUIMARÃES, M.C.F. Resposta de três gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria ruziziensis* Germain et Everard e *Pennisetum purpureum* Schum) a elementos fertilizantes em latossolo amarelo. Belém, IPEAN, 1971. 38p. (IPEAN. Fertilidade de Solo, 2).
- SINGH, R., MÖLLER, M.R.F. & FERREIRA, W. de A. Características da sorção do fósforo relacionadas com propriedades selecionadas de solos dos trópicos úmidos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo.** 7:233-41, 1983.
- SMYTH, T.J. & BASTOS, J.B. **Adubação fosfatada, para milho e caupi em latossolo amarelo álico do Trópico Úmido.** In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO,** 16. Ilhéus, 1984. **Resumos...** Ilhéus, CEPLAC/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1984. p.12.

- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 6 ed. Ames, The Iowa State University, 1967. 593p.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. EPFS, 1969. 24p. (Ministério da Agricultura, EPFS. Boletim Técnico, 7).
- VIEIRA, L.S. **Conteúdo de fósforo de alguns solos da Amazônia**. Belém, IDESP, 1971. 21p. (IDESP. Monografias, 6).
- VIEIRA, L.S.; SANTOS, W.H.P. dos; FALESI, I.C. & OLIVEIRA FILHO, J.P.S. Levantamento de reconhecimento dos solos da região bragantina, Estado do Pará. *Pesq. Agropec. Bras.* 2:1-63, 1967.
- WATANABE, F.S. & OLSEN, S.R. Tests of ascorbic acid method for determining phosphorus in Water and NaHCO_3 extracts from soils. **Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.** 29:677-8, 1965.