

RECUPERAÇÃO DO FÓSFORO RESIDUAL DO SOLO, DERIVADO DE UM TERMOFOSFATO MAGNESIANO COM DIFERENTES GRANULOMETRIAS E DO SUPERFOSFATO SIMPLES GRANULADO¹

R. STEFANUTTI²; E. MALAVOLTA²; T. MURAOKA²

² Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, C.P. 96, CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP.

RESUMO: O trabalho compara a recuperação do P_2O_5 residual através de cultivos sucessivos em um solo que recebeu doses crescentes de um termofosfato magnésiano com diferentes granulometrias e superfosfato simples granulado. Os resultados obtidos pela determinação do P extraído pelas plantas em 7 cultivos em vaso permitem concluir que o termofosfato na forma pó, apresenta efeito residual semelhante ao do superfosfato simples granulado; a granulometria mais grosseira do produto termofosfato resultou em menor recuperação do fósforo residual.

Descritores: termofosfato magnésiano, fósforo, fósforo residual, granulometria, fontes de fósforo

RECUPERATION OF RESIDUAL PHOSPHORUS FROM MAGNESIUM THERMOPHOSPHATE OF DIFFERENT GRANULE SIZES AND FROM GRANULATED ORDINARY SUPERPHOSPHATE

ABSTRACT: This paper compares the recovery of the residual P_2O_5 from magnesium thermophosphate (MPT) with different granule size, and from granular ordinary superphosphate (OSP). Seven successive crops were grown in pots in a greenhouse and their phosphorus content was analysed. Results demonstrated that powder MTP has the same residual effect as OSP. Coarse MTP, however, caused lower recovery of residual phosphorus.

Key Words: Magnesium thermophosphate, phosphorus, residual phosphorus, particles size, ordinary superphosphate

INTRODUÇÃO

Os teores de fósforo na solução do solo, além de muito baixos, são insuficientes para suprir as necessidades de uma cultura. Particularmente, este nutriente está envolvido em processos de fixação, que podem ser permanentes para a maioria dos solos tropicais ácidos.

Aplicam-se quantidades muito maiores de P no solo do que as plantas retiram (MALAVOLTA, 1981; RAIJ *et al.*, 1982). Outro fator que interfere é o aproveitamento inicial do fósforo aplicado no primeiro ano, que é muito baixo, da ordem de 5 a 20% para a maioria das culturas (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). Entretanto, o fósforo residual pode ser aproveitado pelas culturas nos anos seguintes, embora parte passe para formas menos disponíveis.

Os adubos fosfatados solúveis, como o superfosfato simples, são aplicados aos solos na forma de grânulos e, ao entrarem em contacto com o solo, ocorre uma rápida absorção de umidade,

ocasionando a dissolução do P (VOLKWEISS & RAIJ, 1977). No caso dos termofosfatos, o processo de dissolução do fósforo é mais lento, pois depende de reações químicas com o solo. Entretanto, com o tempo, o fósforo residual poderá se equiparar ou mesmo até superar os resultados da fonte solúvel em água.

Algumas propriedades físicas dos adubos, como o tamanho das partículas, determinam maior ou menor aproveitamento do nutriente pelas plantas. No caso do fósforo solúvel, a granulagem adequada do fertilizante e a correção da acidez do solo reduzem a fixação do elemento.

TERMAN *et al.* (1970) comentaram que a eficiência inicial de um fertilizante fosfatado é altamente afetada pela solubilidade e pelo tamanho do grânulo.

NOVOA & NUNEZ (1974) analisaram os fertilizantes fosfatados solúveis e constataram que se comportam de maneira mais eficiente na forma de grânulos do que em pó.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao CENA/USP, Piracicaba, SP.

O trabalho visa avaliar a recuperação do P residual de um termofosfato magnésiano com diferentes granulometrias, comparando-o com o superfosfato simples granulado.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em vasos de polietileno com 2 kg de terra, em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura/CENA, Piracicaba. Foram empregadas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo fase cerrado, textura média argilosa, apresentado o seguinte resultado da

análise química: pH (água) = 4,6; % C = 1,1; P (Mehlich) = 1 ppm; K = 0,08 meq/100 ml; Ca = 0,4 meq/100 ml; H + Al = 3,4 meq/100 ml; Mg = 0,3 meq/100 ml; S - SO₄ = 10 ppm; SB = 1,0 meq/100 ml; T = 4,5 meq/100 ml; V = 22 %, (RAIJ *et al.*, 1987).

O solo foi corrigido elevando-se a saturação de bases para 60%. Foram aplicadas doses crescentes (0, 50, 100 e 200 ppm de P) de superfosfato simples granulado e termofosfato magnésiano nas formas pó, grosso e granulado.

As características químicas e físicas das fontes de fósforo utilizadas são apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1 - Características químicas e físicas das fontes de fósforo

Produtos	Natureza Física	Passante Peneira (mm)	P ₂ O ₅		Ca	Mg	S
			Total	Solúvel %			
MG Yoorin	Granular	50 a 0,84	18,0	16,5*	17	7	0
MG Yoorin	Pó	75 a 0,15	18,0	16,5*	20	9	0
MG Yoorin	Grosso	100 a 0,84	18,0	11,0*	20	9	0
SPS	Granular	100 a 1-2	19,0	18,0	20	0	12

*Solúvel em ácido cítrico - 2% SPS-Superfosfato Simples.

Foram cultivados em sucessão feijão, milho e trigo até o "esgotamento" do fósforo. Foi determinada a produção de matéria seca e o fósforo absorvido de cada cultivo, segundo MALAVOLTA *et al.* (1989).

O fósforo recuperado nos sete cultivos foi determinado algebricamente a partir do fósforo adicionado ao solo em cada tratamento, subtraindo-se o P extraído pelas plantas em cada cultivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As comparações com o P absorvido são fundamentadas no fato de que a absorção do elemento pela planta e seu crescimento, determinado pela produção de matéria seca, estão relacionadas com as quantidades disponíveis do elemento no solo. Esta inferência está de acordo com VOLKWEISS & RAIJ (1977), que consideraram que as raízes absorvem o P da solução do solo em quantidades proporcionais à sua concentração.

O fósforo total absorvido nos sete cultivos e o fósforo total recuperado são apresentados na TABELA 2.

Os resultados evidenciam que o fósforo residual apresentou-se insuficiente para suprir adequadamente as plantas no VII cultivo, em todos os níveis e fontes, não havendo diferença significativa entre as fontes estudadas, neste cultivo. A partir do VI cultivo, o fósforo residual da fonte solúvel demonstrou sinais de esgotamento e ou de baixa disponibilidade para o suprimento das plantas em todos os níveis (TABELA 3).

Estes resultados indicam que o fósforo remanescente da adição inicial não estava mais disponível para as plantas. Uma das causas que contribui para explicar este fato é o processo de fixação do fósforo desenvolvido pelo solo e certamente intensificado com a acidificação que as terras dos vasos sofreram durante os cultivos (MALAVOLTA, 1981).

O Yoorin pó não apresentou diferenças no fornecimento de fósforo ao longo dos cultivos de

TABELA 2 - Fósforo total absorvido nos sete cultivos após aplicação de 50, 100 e 200 ppm de Yoorin nas formas pó, grosso e granulado, e de superfosfato simples; fósforo total recuperado.

Fontes	e	Cultivos							Σ VII	Total
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
Níveis	de P	mg/vaso								
	ppm	0	2,50	5,04	2,89	1,65	8,43	9,93	0,48	30,97
YPO	50	3,21	15,21	12,57	12,49	22,45	15,55	0,64	82,13	
	100	5,01	31,80	27,27	11,31	27,63	29,64	0,74	133,42	
	200	7,61	53,70	52,46	23,9	36,05	41,03	1,83	216,66	
	50	2,89	14,71	22,79	7,82	17,82	15,18	0,74	81,96	
YGR	100	3,24	17,28	25,13	17,83	27,34	26,92	0,61	118,36	
	200	3,92	27,96	37,29	13,24	37,70	45,93	2,84	168,90	
	50	2,59	3,60	4,52	3,72	14,01	21,80	0,87	51,13	
	100	2,64	9,77	9,95	8,51	29,18	35,70	1,59	97,35	
YGN	200	3,32	15,21	31,08	15,25	32,50	40,89	2,63	140,89	
	50	5,28	30,92	20,82	6,49	26,76	22,45	0,86	113,59	
	100	5,69	53,93	25,17	7,33	21,44	14,04	1,00	128,62	
	200	9,17	87,67	83,03	20,24	38,24	19,33	1,74	259,43	

Cultivos: I-feijão; II, III, V e VI-milho; IV e VII trigo. YPO- Yoorin Pó; YGR- Yoorin Grosso; YGN- Yoorin Granulado; SPS-superfosfato simples.

milho. Foi a fonte mais regular no fornecimento do nutriente para as plantas de milho, indicando que houve uma reposição constante do fósforo na solução do solo, até o VI cultivo.

A fonte Yoorin granulado foi inferior às demais fontes e comportou-se de modo oposto à fonte solúvel no processo de liberação de P ao longo dos cultivos, como pode ser observado na TABELA 3.

Na Figura 1 é destacado o fósforo recuperado em todos os cultivos. O maior destaque na recuperação de fósforo ocorre para a fonte superfosfato simples que, a partir do VI cultivo, no nível 50 ppm, ultrapassou a quantidade de fósforo adicionada. Esta é a situação desejável, porque indica que não ocorreu fixação do fosfato aplicado.

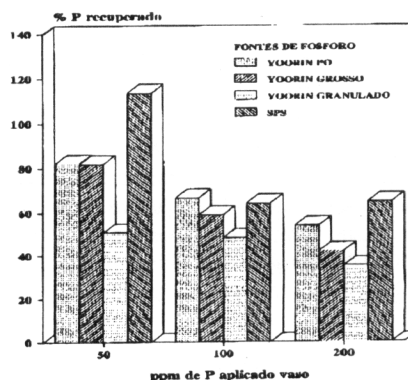


Figura 1- Fósforo (%) extraído nos sete cultivos em função de diferentes fontes, granulometrias e níveis .

TABELA 3- P recuperado nos diversos cultivos sob diferentes fontes de fósforo.

FONTES	CULTIVOS					
	mg P					
	II	III	IV	V	VI	VII
SPS	44,39aA	32,98bA	8,92eAB	23,73cA	16,44dB	1,02fAB
YOO PÓ	26,44aB	23,80aB	12,35bA	23,65aA	24,04aAB	0,92cB
GROSSO	16,25bcC	22,02abB	10,13cAB	22,83aA	24,49aA	1,39dAB
GRANULA DO	8,11cD	12,11abc	7,26cB	21,04abA	27,08aA	1,44dA
DMS 5%	6,45	2,20	3,71	6,68	7,93	0,51

Médias seguidas de letras minúsculas iguais, nas linhas, não diferem entre si a 5% e as seguidas de letras maiúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si a 5% II- milho; III- milho; IV- trigo; V- milho; VI- milho; VII- milho. YPO-Yoorin Pó; YGR-Yoorin Grosso; YGN-Yoorin Granulado; SPS-superfosfato simples.

O TABELA 4 apresenta o fósforo residual calculado, existente no solo, à partir da dose inicial aplicada.

Embora alguns tratamentos ainda apresentassem fósforo remanescente, "contábil", em quantidade elevada (TABELA 4), a análise de solo pelo método da

TABELA 4 - Fósforo residual calculado para cada cultivo.

Fonte	Dose* (mg)	Cultivos						
		(mg/vaso)						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
Testemunha	0	-2,49	-7,5	-10,42	-12,08	-20,56	-30,49	-30,97
YP1	100	96,79	81,57	68,99	56,50	34,05	18,50	17,86
YP2	200	194,99	163,18	135,90	124,59	96,96	67,32	66,57
YP3	400	392,39	338,68	286,22	262,25	226,20	185,16	183,33
YGr1	100	97,11	82,39	59,60	51,78	33,96	18,78	18,03
YGr2	200	196,76	179,49	154,35	136,52	109,18	82,25	81,64
YGr3	400	396,08	368,11	330,82	317,57	279,87	233,94	231,09
YGn1	100	97,41	93,80	89,27	85,55	71,53	49,73	48,86
YGn2	200	197,36	187,59	177,64	169,12	139,94	104,23	102,64
YGn3	400	396,68	381,47	350,38	335,13	302,63	261,74	259,10
SPS1	100	94,72	63,79	42,97	36,48	9,72	-12,73	-13,59
SPS2	200	194,31	140,37	115,19	107,86	86,42	72,37	71,37
SPS3	400	390,83	303,15	220,12	199,88	161,64	142,30	140,56

*fósforo aplicado antes do Iº Cultivo (mg/vaso); YP1- Yoorin pó 50 ppm; YP2- Yoorin pó 100 ppm; YP3- Yoorin pó 200 ppm; YGr1- Yoorin grosso 50 ppm; YGr2- Yoorin grosso 100 ppm; YGr3- Yoorin grosso 200 ppm; YGn1-Yoorin granulado 50 ppm; YGn2- Yoorin granulado 100 ppm; YGn3-Yoorin granulado 200 ppm; SPS1- Superfosfato Simples 50 ppm; SPS2-Superfosfato Simples 100 ppm; SPS3- Superfosfato Simples 200 ppm

resina (TABELA 5) mostra o baixo teor de P disponível. STEFANUTTI *et al.* (1992) compararam métodos de extração de P e concluíram que a resina apresentou resultados mais representativos da extração de P e produção de matéria seca ao longo dos cultivos.

Os resultados das análises de solo após o VII cultivo, confirmam a acidificação do solo e o baixo teor de P disponível pelo método da resina (TABELA 5). Pelo teste de Tukey aplicado às médias do fósforo extraído e acumulado para as diferentes fontes, verificam-se diferenças significativas entre es-

TABELA 5 - A análise do solo após o VII- Cultivo. Método da resina e pH em CaCl₂.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	T	V%
Testemunha	3,8	5	1,3	1,4	1,0	5,0	8,8	41,0
Yoo pó 50 ppm	3,7	6	0,6	1,3	0,2	4,9	7,0	31,0
Yoo pó 100 ppm	3,7	9	0,6	1,5	0,1	5,2	7,5	29,0
Yoo pó 200 ppm	3,9	19	0,5	2,2	0,1	4,2	7,0	40,0
Y.Gros. 50 ppm	3,5	9	0,6	1,3	0,2	5,4	7,5	29,0
Y.Gros. 100 ppm	3,6	10	0,4	1,4	0,1	5,0	7,9	29,0
Y.Gros. 200 ppm	4,0	27	0,4	3,1	0,3	4,2	8,0	48,0
Y.Gran. 50 ppm	3,7	5	0,5	1,4	0,4	4,9	7,2	32,0
Y.Gran. 100 ppm	3,7	8	0,3	1,4	0,2	5,3	7,2	28,0
Y.Gran. 200 ppm	3,9	29	0,5	3,1	0,4	3,9	7,9	47,0
SPS 50 ppm	3,6	10	0,5	1,1	0,1	5,8	7,6	23,0
SPS 100 ppm	3,7	21	0,6	1,3	0,1	5,0	7,0	27,0
SPS 200 ppm	3,6	43	0,5	2,0	0,1	6,2	8,4	29,0

P (ug/cm³); K (e.mg/100 ml); Ca e Mg (e.mg/100 ml); H + Al (e.mg/100 ml); T (e.mg/100 ml). YPO-Yoorin Pó; YGR-Yoorin Grosso; YGN-Yoorin Granulado; SPS-superfosfato simples.

TABELA 6- P absorvido e recuperado para as diferentes fontes.

Fontes	mg P
Superfosfato Simples	133,15A
Yoorin pó	115,80AB
Yoorin grosso	100,05BC
Yoorin granulado	80,09C

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais, nas colunas, não diferem entre si a 1% .

nas fontes, destacando o efeito da granulometria (TABELA 6).

O fósforo extraído e acumulado nos sete cultivos apresentou resultados estatisticamente agrupados, com um grupo intermediário cujas médias não diferiram entre si. Ficou clara a maior disponibilidade do fósforo para as fontes SPS e Yoorin pó, que não diferiram entre si a 1% de probabilidade. A inferioridade do termofosfato granulado é confirmada através da TABELA 6, diferindo a 1% do primeiro grupo. O termofosfato de granulometria grosseira teve um comportamento intermediário aos de granulometrias pó e granulada, somente diferindo da fonte solúvel. Os resultados mostraram que a variação da granulometria nos termofosfatos interferiu na liberação de fósforo no solo e no efeito residual.

Os resultados superaram os valores obtidos por TANAKA (1990) e SANDER & EGHBALL (1988) na recuperação de fósforo do solo pelas plantas. VASCONCELLOS *et al.* (1986); GOEDERT &

LOBATO (1984); MURAOKA & NEPTUNE (1978) encontraram maiores efeitos residuais para o termofosfato que para fertilizantes solúveis, o que difere em parte dos resultados obtidos.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foram conduzidos os ensaios, os resultados permitem tirar as seguintes conclusões:

- O uso do termofosfato na forma pó, apresenta efeito residual semelhante ao do superfosfato simples.

- A granulometria mais grosseira do produto termofosfato resultou menor aproveitamento do fósforo residual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, p.97-102, 1984.

- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação.** 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado.** Piracicaba: POTAFÓS, 1985. 136p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: POTAFÓS, 1989. 201p.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. **Eficiência de vários adubos fosfatados. II. Efeito residual.** *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v.35, p.533-539, 1978.
- NOVOA, F.V.; NUNEZ, R. **Efficiency of five phosphate fertilizer sources in soils with different phosphate fixing capacities.** *Tropical Agriculture*, Guildford, v.2, p.235-245, 1974.
- RAIJ, B. van; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações.** In: OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. (Eds.) **Adubação fosfatada no Brasil.** Brasília: EMBRAPA/DID, 1982. p.9-28.
- SANDER, D.H.; EGHBALL, B. **Effect of fertilizer phosphorus particle size on phosphorus fertilizer efficiency.** *Journal of Soil Science Society of America*, Madison, v.52, p.868-873, 1988.
- STEFANUTTI, R.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. **Comportamento de quatro extratores para fósforo no solo, com aplicação de doses crescentes e diferentes fontes de P.** IN: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. *Anais...* Piracicaba: SBCS, 1992. p.66-67.
- TANAKA, R.T. **Efeito do método de aplicação e do período de incubação na eficiência agrônômica dos fosfatos.** Piracicaba, 1990. 122p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- TERMAN, G.L.; ALLEN, S.E.; ENGELSTAD, O.P. **Response by paddy rice to rates and sources applied phosphorus.** *Agronomy Journal*, Madison, v.62, p.390-394, 1970.
- VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E. de; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. **Eficiência agrônômica de fosfatos naturais para a cultura do sorgo granífero: I. Fósforo total e solúvel em ácido cítrico e granulometria.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, p.117-121, 1986.
- VOLKWEISS, S.J.; RAIJ, B. van. **Retenção e disponibilidade de fósforo em solos.** In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 4., 1976, Brasília. **Bases para utilização agropecuária.** *Anais...* São Paulo: EDUSP, 1977. p.317-332.

Recebido para publicação em 26.08.94
Aceito para publicação em 04.05.95