

ADUBOS FOSFATADOS NA ABSORÇÃO DE FÓSFORO PELA SOJA EM PRESENÇA E AUSÊNCIA DE CALAGEM ⁽¹⁾

ONDINO CLEANTE BATAGLIA (2), *Seção de Química Analítica*, HIPÓLITO ANTONIO ASSUNÇÃO MASCARENHAS (2), *Seção de Leguminosas*, e VIOLETA NAGAI (2), *Seção de Técnica Experimental e Cálculo*, Instituto Agronômico.

RESUMO

Num experimento conduzido em São Simão (SP) durante três anos consecutivos, em um latossolo roxo de textura média, anteriormente sob vegetação de cerrado, estudou-se o efeito da aplicação de fosfato-de-araxá, hiperfosfato, termofosfato (Yoorin) e superfosfato triplo em presença e ausência de calagem, sobre o crescimento, produtividade e absorção de nutrientes pela soja cultivar Santa-Rosa. Os dados evidenciaram a importância dos nutrientes acompanhantes de fósforo dos adubos fosfatados, especialmente do cálcio, sobre o crescimento, produção de grãos e absorção de fósforo pela parte aérea da soja. Na presença de calagem, não houve diferença marcante entre os adubos sobre a produtividade e absorção do fósforo. Na sua ausência, os adubos menos solúveis, aplicados em maiores quantidades e, portanto, levando grandes quantidades de cálcio, mostraram efeitos residuais melhores que os fosfatados mais solúveis. A produtividade com a aplicação dos fosfatos menos solúveis no terceiro ano de plantio sem calagem mostrou boa correlação com a absorção de cálcio, magnésio, fósforo e com a relação Ca/Mn das folhas.

1. INTRODUÇÃO

Na década de 1970 houve grande interesse em comparar a eficiência da aplicação direta de fosfatos naturais em relação a fertilizantes tradi-

(1) Recebido para publicação a 4 de abril de 1983.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq.

cionalmente usados como fontes de fósforo solúvel para diversas culturas, entre as quais a soja foi uma das mais estudadas, em virtude da expansão de seu cultivo principalmente nas áreas de cerrado e do incremento da pesquisa com essa leguminosa no País.

Quando comparados com adubos fosfatados solúveis, os resultados até aqui obtidos têm mostrado baixo desempenho das apatitas como fonte de fósforo para a soja (MASCARENHAS et alii, 7, BORKERT et alii, 2, e BRAGA et alii, 3), enquanto outros fosfatos, como os de alumínio fospal e maranhão e a fosforita-de-gafsa (hiperfosfato) têm mostrado reações moderadas (BRAGA et alii, 3).

A maioria dos experimentos já conduzidos tem utilizado a produtividade da soja como parâmetro para avaliação da eficiência dos adubos fosfatados. Em alguns casos procurou-se explicar essa produtividade em função dos teores de nutrientes nas folhas (MASCARENHAS et alii, 7, CORDEIRO et alii, 5, e BRAGA et alii, 3). A adição de adubos fosfatados nem sempre é acompanhada de correlações significativas entre o teor de fósforo nas folhas e a produção. Frequentemente, os teores de outros nutrientes na planta são mais afetados que o próprio fósforo. MASCARENHAS et alii (7) mostraram que a aplicação de adubos fosfatados em ausência de calagem modificou principalmente os teores de Ca, Mg, Fe, Zn e Al. Alguns desses nutrientes estão presentes nos fertilizantes, como Ca e Mg, enquanto outros, como Fe, Al e Zn são afetados pela precipitação na forma de fosfatos no solo, diminuindo, portanto, sua disponibilidade. CORDEIRO et alii (5) mostraram que as relações $K/(Ca + Mg)$ e P/Zn foram as de maior influência sobre a produção em todas as fontes e níveis de fósforo testados.

Apesar do número relativamente grande de trabalhos realizados com fontes de fósforo, poucas pesquisas mostram a absorção desse nutriente pela soja e possíveis relações com a absorção de outros nutrientes presentes nos adubos fosfatados, e que poderiam implicar num controle da produtividade, sendo este estudo o objetivo do presente trabalho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados durante três anos consecutivos (1973/76), em São Simão (SP), experimentos de adubação fosfatada em um latossolo roxo de textura média sob vegetação de cerrado previamente removida. O solo mostrava inicialmente as seguintes características: pH = 4,9; M.O. = 1,9%; Al^{3+} = 0,00 e $Ca + Mg$ = 1,72 meq/100ml, $K = 4$ e $P = 1\mu g/ml$ de T.F.S.A.

Foram testados quatro tipos de adubos fosfatados na presença e na ausência de calagem: esta, feita antes do primeiro plantio (1973/74) e do terceiro, na base de 2.500kg/ha de calcário dolomítico. Os fosfatos

usados foram: apatita-de-araxá, hiperfosfato, termofosfato (Yoorin) e superfosfato triplo, nas seguintes doses: 100, 200 e 400kg/ha de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico à 2% ou água, e mais uma testemunha com ausência de fósforo. As solubilidades dos adubos fosfatados empregados para cálculo das quantidades aplicadas foram estas: superfosfato triplo: 40% de P_2O_5 em água; apatita-de-araxá: 5%; hiperfosfato: 12% e termofosfato: 16% de P_2O_5 , todos em ácido cítrico a 2%.

Além da calagem e dos adubos fosfatados, todas as parcelas receberam no primeiro ano 40kg/ha de K_2O na forma de KCl e 40kg/ha de S na de gesso. Esses fertilizantes foram misturados com os adubos fosfatados, aplicados a lanço e incorporados ao solo com enxada rotativa, vinte dias antes do primeiro plantio.

Os tratamentos constituíam um fatorial 3 x 4 para níveis e fontes, mais uma testemunha, distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições. Utilizou-se o cultivar Santa-Rosa. Cada canteiro consistia em seis linhas de 5m de comprimento, colhendo-se apenas as duas centrais para medida de produção de grãos. Durante o ciclo vegetativo, no primeiro plantio foram feitas seis amostragens em intervalos de vinte dias e, nos outros dois, quatro amostragens em intervalos de trinta dias, coletando-se a parte aérea de 0,50m de linha em cada canteiro em cada amostragem, nas linhas adjacentes às duas centrais dos canteiros. As plantas foram separadas em folhas, hastes, vagens e sementes, determinando-se, em cada uma das partes, a matéria seca e os teores de N, P, K, Ca e Mg, de acordo com métodos descritos por BATAGLIA et alii (1).

Na análise da variância, foi feita a decomposição dos tratamentos que compunham o fatorial em fontes, níveis e interação fontes x níveis. Foram estudados os componentes linear e quadrático para níveis, pelo teste F, que foi empregado também no estudo dos seguintes contrastes referentes às fontes de adubo: fosfatos solúveis versus pouco solúveis; entre solúveis (termofosfato vs. superfosfato triplo) e entre os pouco solúveis (apatita-de-araxá vs. hiperfosfato).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos tratamentos que receberam calagem, houve, no decorrer dos anos, maior aproximação nas curvas de absorção de fósforo pela parte aérea das plantas em função das fontes de fósforo e idade (Figura 1). Ao contrário, nos tratamentos sem calagem, houve, com o decorrer dos anos, maior distanciamento das curvas de absorção, podendo-se observar, no segundo e terceiro anos, valores menores para os fosfatos solúveis (superfosfato triplo e termofosfato) em relação aos menos solúveis (araxá e hiperfosfato).

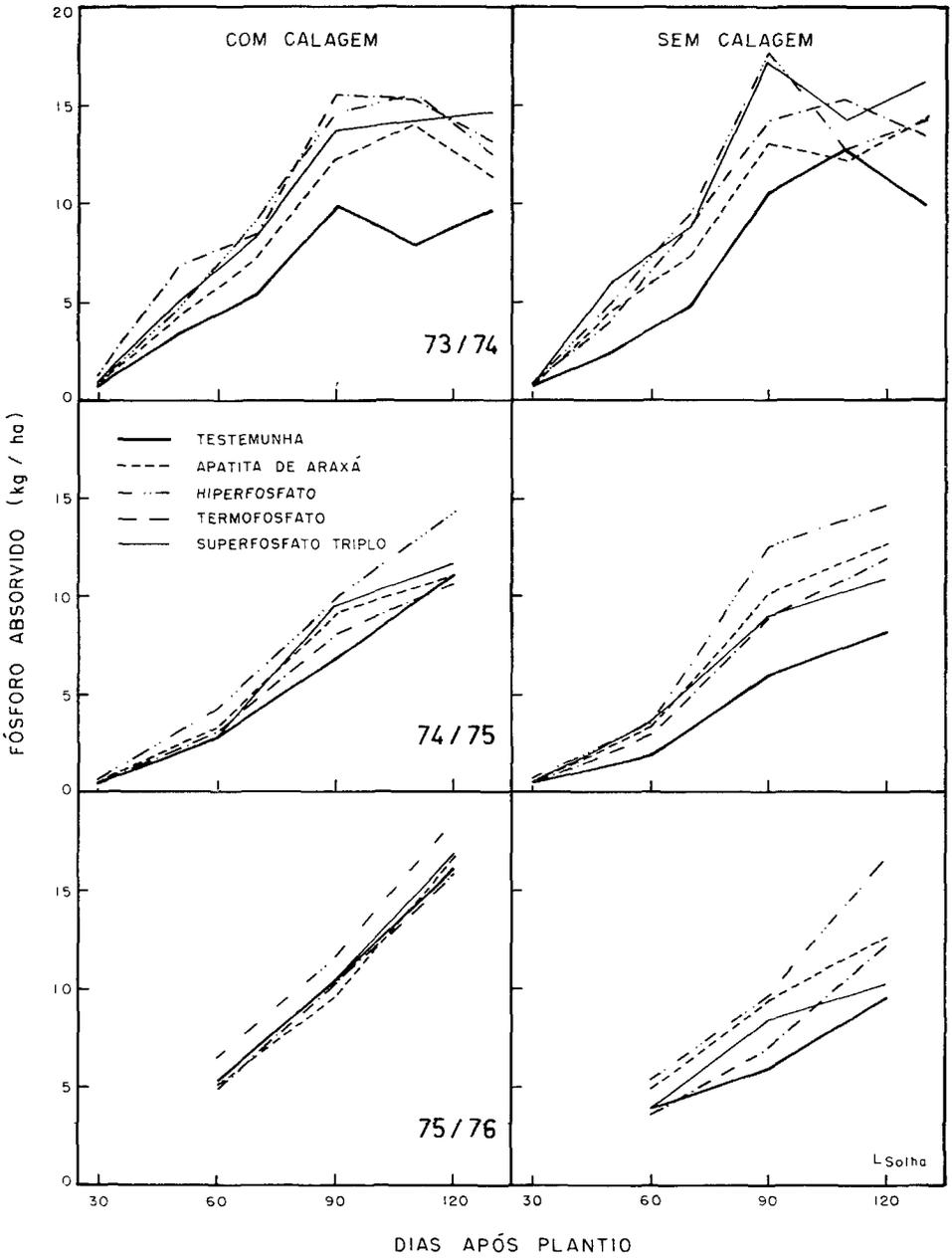


FIGURA 1. Efeitos da calagem e fontes de fósforo sobre a absorção de fósforo pela parte aérea da soja em diversas épocas durante o ciclo evolutivo da planta em três anos sucessivos.

No final do ciclo da planta, quando as diferenças de tratamento são mais marcantes, os dados do quadro 1 mostram que não houve diferença de fontes sobre a absorção de fósforo pela planta quando se aplicou calcário no primeiro e terceiro anos de plantio. No segundo ano de plantio, quando não foi aplicado calcário nos tratamentos com calagem, e no segundo e terceiro anos de plantio nos tratamentos sem calagem, houve de modo geral, maior absorção de fósforo nos tratamentos com hiperfosfato. Ainda, no segundo e terceiro anos de plantio, na ausência de calagem, a absorção de fósforo pela planta foi significativamente maior com a aplicação dos fosfatos pouco solúveis em relação aos fosfatos solúveis. Entre os pouco solúveis, o hiperfosfato mostrou maior efeito que a apatita-de-araxá.

QUADRO 1. Absorção de fósforo pela parte aérea da soja 120 dias após o plantio. Médias de três doses para cada fonte de fósforo

Tratamento	Tratamentos com calagem			Tratamentos sem calagem		
	73/74	74/75	75/76	73/74	74/75	75/76
	kg/ha					
Testemunha	9,8	11,0	16,8	9,9	3,2	9,7
Apatita-de-araxá	11,4 a	11,0 b	16,7 a	14,5 a	12,7 b	13,9 ab
Hiperfosfato	13,1 a	14,2 a	18,4 a	15,3 a	15,8 a	16,7 a
Termofosfato	13,1 a	10,6 b	16,0 a	13,5 a	12,1 b	12,1 b
Superfosfato triplo	14,6 a	11,7 ab	16,2 a	16,2 a	12,1 b	10,2 b

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem significativamente (Tukey 5%).

Na figura 2 são mostrados os efeitos das fontes e doses de fósforo sobre a produção de grãos e absorção de fósforo, cálcio e magnésio pela parte aérea das plantas aos 130 dias após o plantio no primeiro ano e 120 dias nos dois anos seguintes.

A produtividade foi severamente afetada no primeiro ano em virtude da seca ocorrida por ocasião do enchimento das vagens. Pode-se observar, entretanto, que houve resposta às doses de fosfatos solúveis aplicados, no que se refere à absorção de fósforo, cálcio e magnésio das plantas que receberam fosfatos solúveis, e praticamente nenhuma resposta à aplicação dos menos solúveis (hiperfosfato e fosfato-de-araxá).

No segundo e terceiro plantios, na presença de calagem, não houve resposta na produção de grãos e absorção de P, Ca e Mg para os fosfatos mais solúveis. No terceiro ano, quando houve nova aplicação de calcário, pôde-se observar que as quantidades de fósforo contidas na parte aérea das plantas foram mais elevadas do que nos tratamentos sem calagem, não havendo diferença entre as fontes de fósforo.

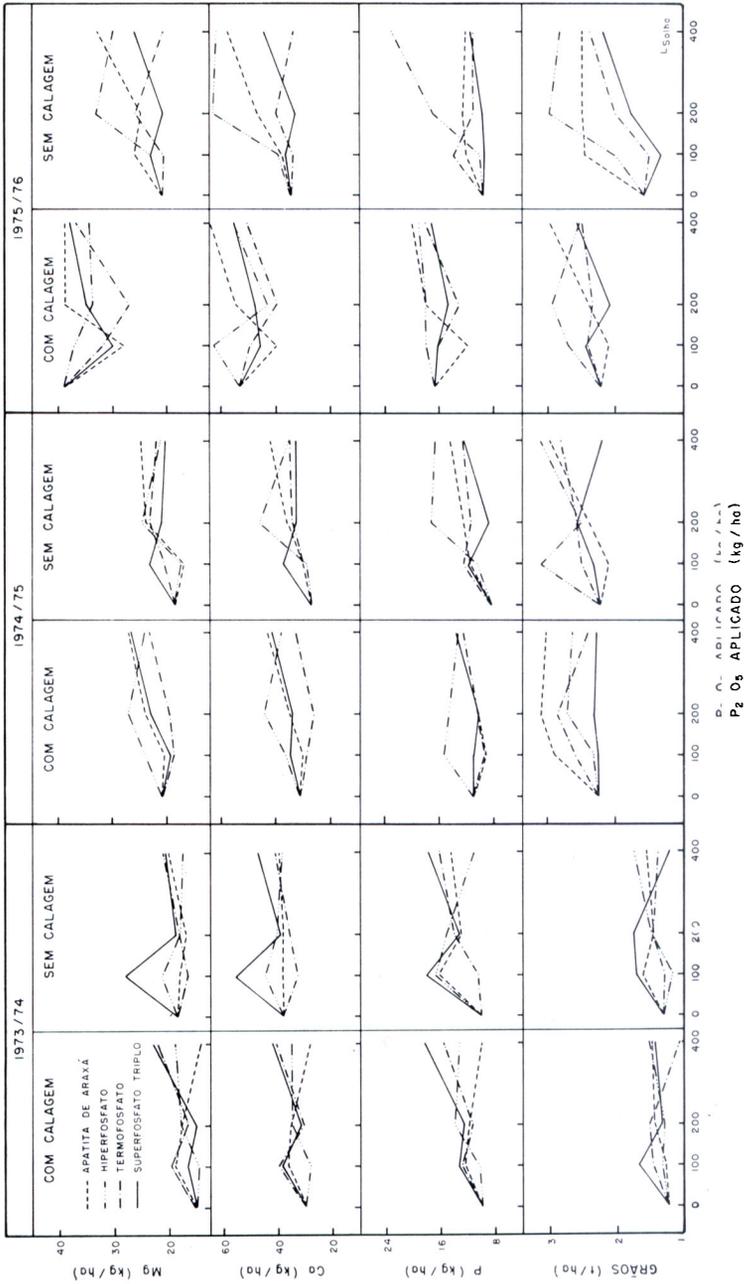


FIGURA 2. Efeitos de níveis e fontes de fósforo, com e sem calagem, sobre a produtividade da soja e absorção de fósforo, cálcio e magnésio, 120 dias após o plantio.

As respostas mais interessantes ocorreram nos tratamentos sem calagem no terceiro ano de plantio. As produções de grãos foram mais baixas nos tratamentos com superfosfato triplo e termofosfato. Os aumentos de produção verificados com a apatita-de-araxá e hiperfosfato foram bastante sensíveis, atingindo níveis da ordem daqueles obtidos na presença de calagem. É interessante notar que a absorção de fósforo no tratamento com hiperfosfato aumentou linearmente com as doses, o mesmo não acontecendo para a apatita-de-araxá. A absorção de cálcio, entretanto, mostrou acréscimos com as doses, em decorrência da presença desse nutriente em elevadas proporções tanto na apatita como no hiperfosfato. Nesses dois fosfatos, a quantidade de cálcio presente nas doses mais elevadas, principalmente na apatita-de-araxá, propiciou um efeito corretivo sobre o solo, simulando o da calagem.

Na presença de calagem, não houve correlação entre a produção e absorção de P, Ca e Mg em nenhum dos anos (Quadro 2). Nos tratamentos sem calagem, apenas no terceiro ano, os coeficientes de correlação entre as absorções de fósforo, cálcio e magnésio e produção foram significativos ao nível de 5% para o fósforo e 1% para o cálcio e magnésio. Isso mostra que a absorção de fósforo, independentemente da fonte utilizada, está relacionada com a absorção do cálcio e/ou magnésio que foram, provavelmente, os nutrientes limitantes do crescimento das plantas no local do experimento.

QUADRO 2. Correlação entre a quantidade de nutriente absorvida pela soja 120 dias após o plantio e a produção de grãos em plantas crescendo sob diversas fontes e níveis de fósforo

Correlação	Coeficientes de correlação (r)		
	73/74	74/75	75/76
	Com calagem		
P x produção	-0,081	-0,219	0,282
Ca x produção	-0,023	-0,300	0,447
Mg x produção	-0,213	0,084	0,340
	Sem calagem		
P x produção	-0,069	0,358	0,657*
Ca x produção	0,041	0,124	0,793**
Mg x produção	-0,008	-0,004	0,762**

Os dados do quadro 3 mostram que, apesar da baixa produtividade da soja no primeiro ano de plantio (Figura 2), as quantidades de fósforo removidas pelas sementes foram semelhantes às dos anos seguintes, por causa da maior concentração do nutriente nas sementes. Nos tratamentos com calagem nos dois primeiros anos de plantio, observou-se, através

da decomposição da análise de variância, maior concentração de fósforo nas sementes das plantas adubadas com hiperfosfato, em relação à apatita-de-araxá, embora não haja, em certos casos, diferenças pelo teste de Tukey. Entre os fosfatos solúveis, apenas no primeiro ano houve maior concentração para o superfosfato triplo em relação ao termofosfato. Nos tratamentos sem calagem, apenas no segundo ano de plantio houve um contraste significativo, mostrando maior concentração de fósforo para os fosfatos pouco solúveis em relação aos solúveis.

A exportação de fósforo pelas sementes foi pouco afetada pelas diferentes fontes de fósforo. Apenas no terceiro ano de plantio, sem calagem, houve uma absorção de fósforo significativamente mais elevada para o hiperfosfato em relação à apatita-de-araxá e ao superfosfato triplo. Observa-se, entretanto, um comportamento bastante diferenciado nos tratamentos sem calagem, para as plantas adubadas com hiperfosfato e superfosfato triplo. Enquanto nos tratamentos com hiperfosfato houve um aumento gradativo na exportação de fósforo pelas sementes no decorrer dos anos, nos tratamentos com superfosfato triplo houve um decréscimo acentuado, em consequência não só da queda de produtividade como também da menor concentração nas sementes.

Apesar das tendências citadas, deve-se observar que as quantidades de fósforo exportadas pelas sementes (Quadro 3) ou pela parte aérea das plantas de soja (Figura 2) são bastante pequenas, situando-se normalmente abaixo de 20kg/ha de P ou 45kg/ha de P_2O_5 . Os dados deste trabalho indicam que a absorção dessa quantidade de fósforo pode ser conseguida desde que se eliminem outros fatores limitantes do crescimento que no presente experimento estariam mais ligados à necessidade de calagem que propriamente do fósforo. Pode ocorrer ainda que a própria absorção do fósforo seja estimulada pela calagem, conforme foi observado por QUAGGIO et alii (8). Esses autores postularam que a maior absorção de fósforo estaria associada a um maior crescimento do sistema radicular, o que não elimina a hipótese de que outros processos, como a maior mineralização da matéria orgânica dos solos recém-desbravados ou solubilização de formas complexas de fosfatos de ferro e alumínio, estivessem contribuindo para suprir de forma mais adequada as necessidades de fósforo da planta.

A relação Ca/Mn parece ter grande importância na fixação do nitrogênio, crescimento da soja e produção de grãos (CABEDA & FREIRE, 4 e QUAGGIO et alii, 8). Com base nos teores de Ca e Mn das folhas colhidas neste mesmo experimento, em dados publicados por MASCARENHAS et alii (7), observou-se que a relação Ca/Mn aumentou consideravelmente do primeiro para o terceiro ano de plantio. No terceiro ano houve correlação significativa entre os valores da relação Ca/Mn e produção de grãos (Quadro 4). Na ausência de calcário, a relação Ca/Mn para o hiperfosfato foi superior às verificadas para outras fontes de fósforo a partir do segundo ano.

QUADRO 3. Concentração e remoção de fósforo por sementes de soja adubada com diferentes fosfatos na presença e na ausência de calagem

Tratamento	Concentração de P				Absorção de P				
	73/74	74/75	75/76	73/74	74/75	75/76	73/74	74/75	75/76
	%								
	kg/ha								
Testemunha	0,488	0,413	0,450	Com calagem			8,5	9,5	14,0
Apatita-de-araxá	0,499 a	0,378 a	0,459 a				9,6 a	9,6 a	13,6 a
Hiperfosfato	0,569 a	0,483 b	0,487 a				9,9 a	12,3 a	14,4 a
Termofosfato	0,497 a	0,414 ab	0,447 a				10,1 a	9,2 a	12,2 a
Superfosfato triplo	0,577 a	0,447 ab	0,471 a				11,7 a	10,0 a	12,9 a
	Sem calagem								
Testemunha	0,507	0,482	0,394				8,0	7,7	8,5
Apatita-de-araxá	0,603 a	0,482 a	0,384 a				11,0 a	10,7 a	9,7 ab
Hiperfosfato	0,601 a	0,486 a	0,453 a				10,6 a	12,5 a	13,2 b
Termofosfato	0,614 a	0,425 a	0,405 a				10,0 a	10,7 a	10,3 ab
Superfosfato triplo	0,612 a	0,397 a	0,376 a				12,2 a	9,7 a	8,1 a

(1) Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem significativamente (Tukey 5%).

QUADRO 4. Efeitos da calagem e fontes de fósforo sobre a relação Ca/Mn nas folhas e produção em três anos sucessivos

Tratamento	1973/74		1974/75		1975/76	
	Ca/Mn	Produção kg/ha	Ca/Mn	Produção kg/ha	Ca/Mn	Produção kg/ha
Testemunha	81	1.210	128	2.260	184	2.240
Apatita-de-araxá	86	1.398	137	3.026	215	2.491
Hiperfosfato	85	1.378	144	2.544	248	2.720
Termofosfato	98	1.487	165	2.609	241	2.430
Superfosfato triplo	96	1.470	150	2.285	203	2.367
			Com calagem			
			Sem calagem			
Testemunha	90	1.290	149	2.221	162	1.588
Apatita-de-araxá	88	1.560	149	2.684	155	2.505
Hiperfosfato	89	1.456	159	2.906	190	2.619
Termofosfato	89	1.374	140	2.619	163	1.967
Superfosfato triplo	86	1.532	129	2.372	161	1.789
Correlação Ca/Mn x produção		$r = 0,457$		$r = 0,523$		$r = 0,652^*$

Os dados do presente trabalho mostraram de forma evidente a importância dos nutrientes acompanhantes do fósforo sobre o efeito das fontes de fósforo para a soja. Na presença de calagem, praticamente não houve diferenças marcantes das fontes de fósforo sobre a produção de grãos ou absorção de fósforo pela soja. Na sua ausência, os adubos com elevados teores de cálcio (hiperfosfato e apatita-de-araxá), que foram aplicados em quantidades maiores em face do baixo teor de fósforo solúvel, mostraram maior efeito residual que os adubos solúveis. Dados de MASCARENHAS et alii (7), em experimentos semelhantes, mostraram a importância do magnésio presente no termofosfato em solos de São Simão e do cálcio no hiperfosfato e fosfato-de-araxá em Guaira (SP).

Tendo em vista a pequena remoção de fósforo pela soja, se esse nutriente ocorrer no solo em proporções não excessivamente baixas ou se for aplicado ao solo, sua absorção parece ser mais dependente da eliminação de outros fatores limitantes do crescimento da planta do que da fonte de nutriente. Isso pode explicar, pelo menos parcialmente, a pequena diferença verificada na resposta de diversas fontes de adubos fosfatados na presença e na ausência de adubação de manutenção com fosfatos solúveis (CORDEIRO et alii, 6; BORKERT et alii, 2 e BRAGA et alii, 3) em experimentos conduzidos em várias localidades. A adubação de manutenção geralmente usada na dose de 100kg/ha de P_2O_5 poderia estar suprimindo a necessidade da cultura e, dessa forma, mascarando a comparação entre as demais fontes de fósforo aplicadas a lãço.

SUMMARY

EFFECT OF PHOSPHATE FERTILIZERS AND LIMING ON PHOSPHORUS UPTAKE BY SOYBEANS

One experiment was conducted during three successive growing seasons in São Simão, State of São Paulo, Brazil, to test the effect of different phosphates and liming on the uptake of phosphorus by soybeans. The phosphates were: «araxá»-rock phosphate, hyperphosphate, thermophosphate (Yoorin) and triple superphosphate, at rates of 100, 200 and 400kg/ha of water or 2% citric acid soluble P_2O_5 and a common control without phosphorus. The phosphates were broadcasted over limed or non limed plots. Dolomitic lime was applied at rates of 2500kg/ha before the first and third planting. The cultivar used was 'Santa Rosa'. Field data demonstrated the importance of the nutrients, specially calcium, carried by the phosphate together with phosphorus, on growth, grain productivity and phosphorus uptake by soybeans. In the presence of lime, there was no marked effect of phosphates on the productivity and P uptake. In non limed treatments, the less soluble fertilizers («araxá» and hyperphosphate) which were applied at higher rates than the soluble phosphates and consequently carrying larger amounts of calcium, showed better residual effects if compared to the more soluble phosphates (thermophosphate and triple superphosphate).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1978. 31p. (Circular, 87)

2. BORKERT, C. M.; CORDEIRO, D. S.; SFREDO, G. J.; PALHANO, J. B.; DITTRICH, R. C. Efeito de diversas doses de fósforo de diferentes fosfatos naturais brasileiros na produção de soja, em condições de primeiro cultivo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 1., Londrina, 1978. Anais. Londrina, EMBRAPA/CNPSO, 1979. v.1, p.291-298.
3. BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R.; RAIJ, B. van. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4:36-39, 1980.
4. CABEDA, M. S. V. & FREIRE, J. R. L. Informe preliminar sobre os efeitos da toxidez de Mn e Al sobre a nodulação e fixação do nitrogênio em soja em solos do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO LATINO-AMERICANA SOBRE INOCULANTES PARA LEGUMINOSAS, 4., Porto Alegre, 1968. Anais. p.282-294.
5. CORDEIRO, D. S.; BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; PALHANO, J. B.; DITTRICH, R. C. Efeitos de diversos níveis de fósforo de diferentes fontes fosfatadas na concentração de macro e micronutrientes na parte aérea de plantas de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 1., Londrina, 1978. Anais. Londrina, EMBRAPA/CNPSO, 1979. v.1, p.275-281.
6. ———; POTTKER, D.; BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; MESQUITA, A. N. DITTRICH, R. C.; PALHANO, J. B. Efeito de níveis e fontes de fósforo na produção e no rendimento econômico da soja na região de Dourados-MS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3:100-105, 1979.
7. MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C.; FEITOSA, C. T.; NAGAI, V.; HIROCE, R.; BRAGA, N. R. Respostas da soja a adubos fosfatados e calagem em solos de cerrado. Campinas, Instituto Agrônomo, 1978. 28p. (Boletim Técnico, 54)
8. QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em solo Latossólico Roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6:113-118, 1982.