

EFEITOS DA INTERAÇÃO FÓSFORO X ENXOFRE SOBRE A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E SOBRE OS NÍVEIS CRÍTICOS DE P E S NO SOLO E EM PLANTAS DE SOJA (*Glycine max* (L.), EM SOLOS COM E SEM CALAGEM^{1/}

Manoel da Silva Cravo^{2/}

José Mário Braga^{2/}

Flávio de Araújo L. do Amaral^{2/}

Victor Hugo Alvarez V.^{2/}

1. INTRODUÇÃO

São inúmeras as vantagens da calagem para os solos e plantas, notadamente a soja, vegetal ao qual se têm dedicado muitas pesquisas, salientando principalmente a interação do material corretivo e o fósforo nas diversas regiões do Brasil (8, 11, 26, 28).

Grande parte dos trabalhos publicados nesse sentido foi realizada em solos da região dos cerrados, que, além da carência de fósforo, em consequência das suas propriedades físico-químicas, têm demonstrado baixo poder de suprimento de enxofre (22), razão por que ensaios conduzidos com esse nutriente têm evidenciado respostas de diversas culturas (10, 22), inclusive a soja (16).

Deficiências de enxofre têm sido, também, comumente observadas onde se fazem aplicações, isoladas ou em conjunto, de doses elevadas de nitrogênio e fósforo (18, 21).

O efeito da interação dos dois aníons observa-se tanto na produção dos vegetais como no solo (2, 19). Em consequência dessa interação, os níveis críticos de enxofre e de fósforo, no solo e na planta, podem alterar-se.

^{1/} Extraído da tese do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de «Magister Scientiae».

Recebido para publicação em 4-5-1984.

^{2/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

Este trabalho tem como objetivo obter dados da ação isolada e conjugada da aplicação de fósforo e de enxofre na produção de matéria seca de soja e verificar sua influência sobre os níveis críticos desses nutrientes, em três solos de cerrado, na ausência e na presença de calcário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho utilizaram-se amostras do horizonte superficial (até 20 cm) de três solos. Os de textura areia franca e franco-argilo-arenosa foram coletados no município de João Pinheiro e o de textura argila pesada no de Bocaiúva, em Minas Gerais. Algumas características físicas e químicas desses solos encontram-se nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

Os tratamentos estudados resultaram de um fatorial tipo $3 \times 2 \times 9$, três solos, dois níveis de calagem («sem calagem» (S/C) e «com calagem» (C/C)) e nove tratamentos P x S, constituídos de certas combinações de cinco níveis de fósforo com cinco níveis de enxofre, e foram dispostos em blocos casualizados, com quatro repetições.

Nos tratamentos com calagem aplicaram-se quantidades de carbonato de cálcio e de magnésio suficientes para elevar o pH das amostras a 6,0.

Os níveis de fósforo e enxofre foram estabelecidos com o emprego do método da Matriz Experimental Plan Puebla III (27), cujo número de tratamentos é definido pela expressão $2^k + 2k + 1$, em que k representa o número de fatores envolvidos. Neste ensaio, k foi igual a dois (fósforo e enxofre), resultando em nove combinações de P x S: 84 x 42; 84 x 98; 196 x 42; 196 x 98; 140 x 70; 14 x 42; 266 x 98; 84 x 7 e 196 x 133 ppm de fósforo e de enxofre.

Foram realizados dois cultivos sucessivos nos mesmos solos. No primeiro cultivo utilizaram-se sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill da variedade 'UFV-5'; no segundo, sementes da variedade 'IAC-8'. Entretanto, para avaliação dos tratamentos P x S, consideraram-se somente os dados do segundo cultivo.

Utilizaram-se vasos plásticos com capacidade para dois dm^3 de solo, sem drenagem. Como fontes de fósforo foram utilizados o KH_2PO_4 , o $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ e o $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, para evitar concentrações elevadas do elemento acompanhante. O enxofre foi aplicado como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Nos tratamentos sem calagem, o magnésio foi aplicado como $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e nos tratamentos com calagem como MgCO_3 , na dosagem de 25 ppm de Mg. O cálcio foi aplicado, como CaCO_3 , na dose de até 166 ppm de Ca, a fim de equilibrar-se com o Ca do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ da dose mais elevada de enxofre. Aplicaram-se 100 ppm de K, na forma de KCl, e 50 ppm de N, como NH_4NO_3 , em duas vezes.

Foi aplicada uma solução de micronutrientes, nas seguintes concentrações, em ppm: B=0,81, Mn=3, Zn=4, Cu=1,33, Fe=1,56 e Mo=0,15.

A colheita do primeiro cultivo foi feita 45 dias depois da emergência e a do segundo 63 dias após o plantio, efetuando-se o corte rente ao solo.

No segundo cultivo não se fez nenhum tratamento adicional, além da aplicação, em cobertura, de 100 ppm de N, em duas vezes, e da metade da dose de micronutrientes aplicada no primeiro cultivo.

A extração do fósforo «disponível» foi feita com Mehlich-1; a determinação, por colorimetria, pelo método da vitamina C.

O enxofre «disponível» foi extraído dos solos com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (500 ppm P) em $\text{HOAc} \cdot 2\text{N}$ (HOEFT *et alii*, 17), e a determinação foi feita por turbidimetria (12), com algumas adaptações, de acordo com CRAVO (6).

A mineralização do material vegetal foi feita com os ácidos nítrico e perclórico. O fósforo do vegetal foi determinado pelo método da vitamina C. O enxofre, porém, foi determinado por turbidimetria de sulfatos, de acordo com CRAVO (6).

Com os dados de produção de matéria seca da parte aérea de soja e com os teores de fósforo e enxofre recuperados do solo e extraídos do material vegetal, fi-

QUADRO 1 - Características físicas dos solos utilizados

Solos	A. grossa ^{1/}	A. fina ^{1/}	Silte ^{1/}	Argila ^{1/}	C. campo ^{2/}	Classificação textural
Areia franca	66	22	1	11	13,26	areia franca
Argila pesada	8	10	19	63	27,66	argila pesada
Franco-argilo-arenoso	28	39	6	27	20,33	franco-argilo-arenoso

^{1/} Análises feitas pelo Laboratório de Física do Solo, Departamento de Solos da U.F.V.

QUADRO 2 - Características químicas dos solos utilizados

Solos	pH em água 1:2,5	Al^{3+} 1/	Ca^{2+} 1/	Mg^{2+} 1/	P^{2-}	K^{2-}	S^{3-}	M.O. 4/
<hr/>								
Areia franca	4,9	0,5	0,3	1,0	3,0	22	11	2,4
Argila pesada	5,0	0,4	1,2	0,6	1,0	60	4	6,3
Franco-argilo-arenoso	4,5	1,1	0,4	0,3	4,0	69	7	2,5

1/ Extraídos com KCl N (?).

2/ Extraídos com extrator químico de Mehlich (?).

3/ Extraído com $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ em HOAC (12) e determinado por tubidimetria (5).

4/ Calculada com base no teor de carbono orgânico obtido pelo método Walkley-Black (?).

zeram-se análises de variância e de regressão. As análises de regressão foram feitas com a utilização do modelo quadrático e de raiz quadrada, selecionando-se como modelo o que apresentou maior R^2 entre os significativos. Com as equações assim selecionadas, estimaram-se as doses de fósforo e enxofre que propiciariam a produção física máxima de matéria seca, bem como as doses ótimas de P e S «recomendáveis» para obtenção de 90% da produção máxima.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. *Matéria Seca, Fósforo e Enxofre Absorvidos e Acumulados*

Os dados médios de produção de matéria seca nos diversos tratamentos encontram-se no Quadro 3. Verifica-se que os tratamentos constituídos pela aplicação de diferentes níveis de fósforo e enxofre influenciaram o rendimento de matéria seca da parte aérea de soja, nos três solos, tanto na ausência como na presença da calagem.

De modo geral, na ausência da calagem, as produções de matéria seca, relativamente aos tratamentos P x S, foram maiores no solo franco-argilo-arenoso (Quadro 3), possivelmente em razão do maior teor de fósforo desse solo antes da sua aplicação (Quadro 2), propiciando maior absorção desse elemento pelas plantas nele cultivadas (Quadro 4). As menores produções obtidas com os tratamentos P x S foram observadas na areia franca (Quadro 3).

Na presença e na ausência do calcário, as produções de matéria seca, em relação aos tratamentos P x S, obedeceram à mesma ordem de grandeza, isto é, no solo franco-argilo-arenoso verificaram-se as maiores produções e na areia franca as menores (Quadro 3).

O efeito da calagem, dentre os tratamentos, fez-se notar com mais clareza na argila pesada, sendo a interação de calagem e tratamento significativa a 1% de probabilidade. Todavia, na areia franca a interação foi significativa somente a 5% de probabilidade, não havendo efeito significativo no solo franco-argilo-arenoso.

Na areia franca, na ausência da calagem, a produção de matéria seca aumentou de forma quadrática, em relação ao aumento dos níveis de fósforo aplicados, indicando boa resposta da soja ao fósforo, o que também foi observado por outros pesquisadores que trabalharam com soja (11, 15, 23, 26, 28).

Entretanto, com o aumento da dose de fósforo aplicada (196 ppm), com dose relativamente baixa de enxofre (42 ppm), a produção de matéria seca foi menor que quando se aplicou dose mais elevada de enxofre (98 ppm), o que indica que, com o aumento da adição de fósforo, há necessidade, também, de aumento da adição de enxofre, a fim de manter o equilíbrio ótimo desses dois nutrientes para a produção de matéria seca.

Aplicando doses crescentes de enxofre na areia franca, sem calagem, com dose relativamente baixa de fósforo (84 ppm), a produção de matéria seca tendeu a diminuir. Contudo, com o aumento da dose de fósforo aplicada (196 ppm) a produção aumentou, indicando que o fósforo, quando aplicado em dose baixa, tornou-se limitante, com o aumento da aplicação de enxofre aplicado. Esses dados levam a crer que se está diante de um caso típico de interação positiva de fósforo e enxofre, tal como foi observado, para a cultura da soja, na Índia (1, 18, 19).

Nesse mesmo solo, na presença da calagem, a produção de matéria seca de soja aumentou de forma quadrática com o aumento da dose de fósforo, não havendo, praticamente, diferença de produção com a adição das diversas doses de enxofre, o que indica que a produção de matéria seca não sofreu influência das doses de enxofre. Isso pode ser reforçado pelos dados do Quadro 3, pelos quais se nota, claramente, a falta de resposta ao enxofre na produção de matéria seca.

A falta de resposta ao enxofre, no solo arenoso, na presença da calagem, pode

QUADRO 3 - Dados de produção de matéria seca da parte aérea da soja nos três solos estudados, na ausência e presença da calagem, de acordo com as doses de fósforo e enxofre aplicadas. Média de quatro repetições

N.º	Tratamentos		Areia franca		Argila pesada		Franco-argilo-arenoso	
	P	S	S/C	C/C	S/C	C/C	S/C	C/C
	— ppm —		g/vaso					
1	84	42	8,13	10,28	8,47	10,93	11,29	13,11
2	84	98	6,63	10,46	10,67	9,74	11,11	13,02
3	196	42	9,27	12,41	10,15	12,57	11,87	13,77
4	196	98	10,08	12,81	11,31	13,15	11,33	13,42
5	140	70	7,57	11,17	10,70	13,04	11,81	13,32
6	14	42	3,76	5,59	4,71	4,85	5,30	7,91
7	266	98	10,21	12,60	12,45	13,16	11,78	14,43
8	84	7	6,74	9,82	8,24	10,17	9,87	11,87
9	196	133	9,83	12,40	14,09	12,47	12,58	13,70
X p/nível calagem e solo			8,02	10,84	10,09	11,12	10,77	12,73
X solo			9,43c		10,61b		11,75a	
TUKEY 1%, para solo.			0,43					
S/C. sem calagem.								
C/C. com calagem.								

ter sido ocasionada pela sua maior disponibilidade no solo, sob o efeito da calagem, tendo sido, portanto, suficiente para o suprimento das plantas.

ESMINGER, (9), no estudo da adsorção de sulfatos em solos do Alabama, e NEPTUNE *et alii* (25), em solos brasileiros, também observaram que houve aumento da disponibilidade de enxofre com a prática da calagem.

Na argila pesada, na ausência da calagem, a produção de matéria seca foi também incrementada pelo aumento da dose de fósforo aplicada, sendo limitada, entretanto, pela carência de enxofre. Isso pode ser confirmado pelo aumento do rendimento de matéria seca, quando se aplicaram doses mais elevadas de enxofre, e pelas respostas, de tendências lineares, das produções de matéria seca verificadas com a adição de níveis crescentes de enxofre a esse solo. Observações semelhantes foram feitas, também, por KUMAR e SING (18), para a cultura da soja, na Índia.

Quando se aplicou o calcário nesse mesmo solo, as produções de matéria seca, em resposta ao fósforo, apresentaram tendência quadrática e foram mais elevadas que na ausência da calagem. Entretanto, o aumento da dose de enxofre (98 ppm), com dose relativamente baixa de fósforo (84 ppm), causou decréscimo na produção de matéria seca, possivelmente em razão do aumento do enxofre «disponível» no solo com calagem (Quadro 5). Isso provocou um desbalanceamento desses dois ânions no solo, restabelecido com o aumento da dose de fósforo.

As respostas ao enxofre, na produção de matéria seca, nesse mesmo solo, com calagem, tiveram comportamento quadrático, atribuindo-se isso a uma melhor utilização do enxofre pelas plantas, uma vez que, pelos dados de análise do vegetal, verifica-se não ter havido grandes diferenças nas quantidades de enxofre absorvidas e acumuladas pelas plantas, mesmo com maior disponibilidade de enxofre no solo (Quadro 4).

No solo franco-argilo-arenoso, tanto na ausência como na presença da calagem, a produção de matéria seca, em resposta ao fósforo, teve comportamento quadrático. Não se notou, praticamente, nenhuma diferença nas produções obtidas com a aplicação de uma mesma dose de fósforo e doses diferentes de enxofre, o que sugere que o último elemento, tanto na ausência como na presença da calagem, não se tornou limitante com o aumento das doses de fósforo.

Com relação às respostas ao enxofre, no solo franco-argilo-arenoso, nos dois níveis de calagem, nota-se que as produções de matéria seca, com as doses de enxofre e com 84 ppm de P, foram menores que com 196 ppm desse elemento, levando à suposição de que o fósforo, e não o enxofre, encontrava-se em quantidade disponível limitante para a obtenção de maiores rendimentos de matéria seca de soja, para os níveis de enxofre aplicados.

A influência da calagem no solo franco-argilo-arenoso fez-se notar pelo aumento de produção de matéria seca, em resposta tanto aos níveis de fósforo como aos níveis de enxofre, o que pode ter sido causado pela maior absorção e acumulação de fósforo pelas plantas (Quadro 4) e/ou pela melhor utilização do enxofre, uma vez que a absorção de enxofre na presença da calagem tendeu a decrescer (Quadro 4), mesmo tendo havido maior disponibilidade desse elemento no solo com calagem (Quadro 5).

A análise de regressão dos dados de produção de matéria seca da parte aérea de soja dos três solos, com relação ao P e S adicionados, na ausência e na presença da calagem, deu origem às equações do Quadro 6. Com essas equações foi possível estimar as doses ótimas de fósforo e enxofre para a produção física máxima e as doses ótimas «recomendáveis» para obtenção de 90% dessa produção máxima (Quadro 7).

Verifica-se, por esses dados, que, na areia franca, na presença da calagem, a aplicação de 217,7 ppm de fósforo, sem enxofre, possibilitaria a obtenção da produção máxima, e a dose «recomendável» para a obtenção de 90% da produção

QUADRO 6 - Equações de regressão para produção de matéria seca da parte aérea da soja (\bar{y} , em 3/vasos), em função das doses (ppm) de fósforo (P) e enxofre (S) adicionadas ao solo

Solo	Nível de calagem	Equação de regressão	R ²
Areia franca	S/C	$\bar{y} = 3,82619 + 0,0480379^{**}P - 0,0084365^{**}S - 0,0001301^{**}P^2 - 0,0001136^{**}S^2 + 0,0001812^{**}PS$	0,93
	C/C	$\bar{y} = 5,02093 + 0,0708691^{**}P - 0,0001628^{**}P^2$	0,97
Argila pesada	S/C	$\bar{y} = 2,03451 + 1,14986^{**}\sqrt{P} - 0,6905^{**}\sqrt{S} - 0,03587^{**}P + 0,080316^{**}S$	
	C/C	$\bar{y} = 0,56776 + 1,58256^{**}\sqrt{P} + 0,143348^{**}\sqrt{S} - 0,0000008^{**}P - 0,0000008^{**}S + 0,118005^{**}\sqrt{P}\sqrt{S}$	0,99
Franco-argilo-arenoso	S/C	$\bar{y} = -2,26972 + 1,93475^{**}\sqrt{P} + 0,306893^{**}\sqrt{S} - 0,0738007^{**}P - 0,012379^{**}S$	0,97
	C/C	$\bar{y} = 1,73299 + 1,48244^{**}\sqrt{P} + 0,394195^{**}\sqrt{S} - 0,0515209^{**}P - 0,0233283^{**}S$	0,95

S/C, sem calagem.

C/C, com calagem.

x - Significativo, a 10% de probabilidade, pelo teste F.

* - Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** - Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F.

QUADRO 7 - Doses ótimas de fósforo (P) e enxofre (S) "recomendáveis" para a obtenção da produção máxima e de 90% da produção máxima de matéria seca da parte aérea da soja

Solo	Nível de calagem	Doses para produção máxima		Produção máxima	Doses para 90% da produção máxima		90% da produção máxima
		P	S		P	S	
— Areia franca	S/C	— ppm —		g/vaso	— ppm —		g/vaso
		280,0	137,0		198,1	75,9	
	C/C	0,0		12,73	129,3		11,46
		217,7	0,0		129,3	0,0	
Argila Pesada	S/C	133,0		13,97	133,0		12,57
		256,6	133,0		95,6	133,0	
	C/C	90,0		13,30	108,0		11,97
		225,6	90,0		108,0	56,5	
Franco-argilo-arenoso	S/C	140,0		12,31	97,5		11,08
		171,8	140,0		97,5	39,7	
	C/C	71,4		14,06	88,6		12,65
		207,0	71,4		88,6	35,8	

máxima seria de 129,3 ppm de fósforo, sem enxofre, o que confirma a falta de resposta ao enxofre.

Por outro lado, com a adição de calcário à argila pesada e ao solo franco-argilo-arenoso, na maioria dos casos houve diminuição da necessidade de fósforo e enxofre para a obtenção de 90% da produção máxima, fazendo mudar o ponto de equilíbrio ótimo entre esses dois nutrientes.

3.2. Níveis Críticos

Depois de o material ter sido analisado quimicamente, para fósforo e enxofre, calculou-se a quantidade desses dois elementos absorvida e acumulada na parte aérea. Os dados assim obtidos foram ajustados por meio de diversos modelos matemáticos. O modelo matemático que melhor se ajustou aos dados variou, conforme o tipo de solo, calagem e doses de fósforo e enxofre (Quadros 8 e 9).

A calagem influenciou de forma positiva as quantidades de fósforo absorvidas nos três solos (Quadro 4). O mesmo não aconteceu com o enxofre, cuja quantidade absorvida variou conforme o tipo de solo (Quadro 4). No solo arenoso, a quantidade de enxofre tendeu a aumentar com a calagem; no solo argiloso, não houve variação no teor de fósforo e, no solo de textura média, a absorção de enxofre diminuiu quando o solo recebeu calagem.

Os níveis críticos de fósforo e enxofre nos solos foram obtidos a partir das doses ótimas desses dois nutrientes «recomendáveis» para a obtenção de 90% da produção máxima.

Essas doses foram substituídas nas equações ajustadas com os teores de fósforo e enxofre recuperados dos solos (Quadros 8 e 9), considerando concentrações críticas desses dois nutrientes os valores obtidos com essas equações. Para obtenção dos níveis críticos na planta, as doses ótimas «recomendáveis» foram substituídas nas equações ajustadas com os dados de fósforo e enxofre extraídos do material vegetal, considerando níveis críticos de fósforo e enxofre nas plantas os valores obtidos com essas equações (Quadro 10).

Os valores dos níveis críticos para análise de solos obtidos para o fósforo na areia franca, nos dois níveis de calagem (Quadro 10), foram elevados, mesmo em se tratando de um solo com 11% de argila, apenas, uma vez que, de acordo com GOEPFERT e FREIRE (15), o nível crítico para fósforo em solos arenosos estaria em torno de 30 ppm, nível adotado pelos laboratórios do Rio Grande do Sul para a cultura da soja. É possível que a discrepância também seja consequência das condições em que os ensaios foram realizados. Os dados deste trabalho foram obtidos em casa de vegetação, enquanto os do Rio Grande do Sul o foram em ensaios de campo.

Na argila pesada, os valores encontrados (Quadro 10) aproximam-se dos que são considerados por VIDOR e FREIRE (28) para solos argilosos, bem como dos que foram obtidos por MUNIZ (24), pelo extrator de Mehlich-1.

No solo franco-argilo-arenoso sem calagem, o valor encontrado (Quadro 10) situa-se dentro da faixa considerada por VIDOR e FREIRE (28) para solos de textura média, ao passo que na presença de calcário o valor obtido ficou um pouco abaixo dessa faixa.

Para o enxofre, os valores dos níveis críticos obtidos em todos os solos foram, de modo geral, elevados e, em razão disso, são muito diferentes dos obtidos por outros pesquisadores (6, 8), que também utilizaram $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{HOAc}$ como extrator.

Observa-se, no Quadro 10, que as concentrações obtidas como níveis críticos para o fósforo no material vegetal sofreram pouca variação entre os solos e níveis de calagem. Esses valores situam-se, de modo geral, um pouco abaixo dos obtidos por MUNIZ (24) em solos do Estado de Minas Gerais, para a cultura da soja.

QUADRO 8 - Equações de regressão que relacionam fósforo recuperado do solo (\hat{Y} , em ppm) e doses de fósforo (P) e de enxofre (S) adicionadas ao solo (ppm)

Solo	Calagem	Equação de regressão ^{1/}	R ²
Areia franca	S/C	$\hat{Y} = 2,00146 - 1,5141 \cdot \sqrt{P} + 1,05529 \cdot \sqrt{S} + 0,434562 \cdot P - 0,0733539 \cdot S$	0,99
	C/C	$\hat{Y} = 9,83972 + 0,494854 \cdot P - 2,79027 \cdot \sqrt{P}$	0,99
Argila pesada	S/C	$\hat{Y} = 3,96058 + 0,250739 \cdot P - 0,0140717 \cdot S - 0,0000668 \cdot P^2 - 0,000982 \cdot S^2$	0,98
	C/C	$\hat{Y} = 0,661139 + 0,0554808 \cdot P - 0,0083762 \cdot S + 0,0001804 \cdot P^2 - 0,000122 \cdot S^2 + 0,0000696 \cdot PS$	0,99
Franco-argilo-arenoso	S/C	$\hat{Y} = -12,3856 - 0,126441 \cdot \sqrt{P} + 2,69796 \cdot \sqrt{S} + 0,385339 \cdot P + 0,058 \cdot S - 0,321607 \cdot \sqrt{P} \cdot \sqrt{S}$	0,99
	C/C	$\hat{Y} = 2,78172 + 0,142204 \cdot P + 0,0232355 \cdot S + 0,0001807 \cdot P^2 - 0,0007412 \cdot S^2 + 0,00071 \cdot PS$	0,99

S/C, sem calagem.

C/C, com calagem.

* significativo a 5%.

QUADRO 9 - Equações de regressão que relacionam enxofre recuperado do solo (\hat{y} , em ppm) e doses de fósforo (P) e de enxofre (S) adicionadas ao solo (ppm)

Solo	Calagem	Equação de regressão ^{1/}	R ²
Areia franca	S/C	$\hat{y} = -10,5158 + 0,247125 \cdot P + 0,913122 \cdot S - 0,00016 \cdot P^2 + 0,0022525 \cdot S^2 - 0,0043111 \cdot PS$	0,95
	C/C	$\hat{y} = 12,4619 + 0,121648 \cdot P + 0,635836 \cdot S - 0,0004037 \cdot P^2 - 0,0002453 \cdot S^2 - 0,0012807 \cdot PS$	0,97
Argila pesada	S/C	$\hat{y} = 25,4384 - 4,88731 \cdot \sqrt{P} - 1,47176 \cdot \sqrt{S} + 0,0715825 \cdot P + 0,494587 \cdot S$	0,99
	C/C	$\hat{y} = 6,04924 + 0,0280238 \cdot P + 0,426043 \cdot S - 0,0001146 \cdot P^2 + 0,0001774 \cdot S^2 - 0,0001904 \cdot PS$	0,98
Franco-argilo-arenoso	S/C	$\hat{y} = 8,52646 + 0,121035 \cdot P + 0,35092 \cdot S - 0,0004328 \cdot P^2 + 0,0008592 \cdot S^2$	0,97
	C/C	$\hat{y} = 12,4759 - 0,03433 \cdot P + 0,512325 \cdot S - 0,0001573 \cdot P^2 - 0,0005387 \cdot S^2 + 0,0009778 \cdot PS$	0,98

S/C, sem calagem.

C/C, com calagem.

* significativo a 5%.

QUADRO 10 - Níveis críticos de fósforo (P)^{1/} e enxofre (S)^{2/}, no solo e no material vegetal, para a obtenção de 90% da produção máxima de matéria seca de soja

Solo	Nível calagem	Nível crítico					
		Solo			Vegetal		
		P		S	P		S
				ppm			%
Areia franca	S/C	70,4	49,6	0,09	0,17		
	C/C	42,1	21,4	0,09	0,07		
Argila pesada	S/C	8,1	33,3	0,09	0,15		
	C/C	8,7	31,2	0,07	0,14		
Franco-argilo-arenoso	S/C	23,2	31,5	0,08	0,14		
	C/C	18,9	28,9	0,07	0,12		

^{1/} Extraído com Mehlich-1. (7).

^{2/} Extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ em HCl (12).

S/C, sem calagem.

C/C, com calagem.

Para o enxofre, os valores encontrados, à exceção do obtido na areia franca com calagem (Quadro 10), estão muito próximos dos que foram citados por outros pesquisadores (10, 20) para diversas culturas.

De acordo com os dados do Quadro 10, verifica-se que, para a areia franca sem calagem, os valores críticos de fósforo e enxofre foram os mais elevados. É possível que estivessem relacionados, principalmente, com os efeitos tóxicos do manganês, cujos sintomas foram observados nas plantas cultivadas nesse solo sem calagem, ocasionando isso o baixo crescimento das plantas e, conseqüentemente, o aumento do nível crítico desses dois nutrientes.

Por outro lado, observando os níveis críticos de fósforo e enxofre no solo e na planta, em todos os solos, verifica-se que, de modo geral, eles diferem dos que são mencionados na maior parte da literatura referente ao assunto (8, 24). Entretanto, deve-se considerar que, na maioria dos trabalhos, a determinação desses valores críticos é feita pela variação dos níveis do nutriente em estudo, mantendo-se constantes as dosagens dos demais. No presente estudo, esses níveis foram determinados com a adição conjunta de níveis variáveis de fósforo e enxofre. Dessa forma, torna-se válida a especulação de que essa poderia ter sido uma das razões para as diferenças dos valores críticos obtidos, em relação aos mencionados na literatura.

Essa suposição torna-se mais consistente quando se considera que, segundo BATES (4), em revisão de literatura sobre fatores que influenciam a concentração crítica dos nutrientes na planta, a interação de nutrientes é um dos fatores que pode fazer variar as concentrações críticas dos nutrientes na planta. Esse autor menciona ainda os trabalhos de Buld (1964), Dumenil (1961) e Moore *et alii* (1946), que enfatizam a importância de considerar as interações dos nutrientes na determinação de níveis críticos.

Dessa forma, é possível que a discrepância dos valores dos níveis críticos de fósforo e enxofre obtidos neste trabalho tenha sido ocasionada pelas interações desses dois nutrientes e a calagem.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de obter dados das ações isoladas e conjugadas do fósforo e do enxofre sobre a produção de matéria seca da parte aérea da soja, instalou-se um ensaio biológico em casa de vegetação, com dois cultivos sucessivos, utilizando amostras dos horizontes superficiais de três solos do Estado de Minas Gerais, com e sem calagem.

Os tratamentos, em número de nove, constituíram-se de certas combinações de fósforo e de enxofre, e os níveis de fósforo (de 0 a 280 ppm) e de enxofre (de 0 a 140 ppm) foram definidos por meio da Matriz Experimental Plan Puebla III.

Com os resultados obtidos nessas condições foi possível chegar às seguintes conclusões:

- 1) A magnitude da resposta da produção de matéria seca à calagem sofreu influência do tipo de solo utilizado.
- 2) Com o aumento da dose de um dos nutrientes, há necessidade de aumentar a dose do outro.
- 3) O tipo de solo e a calagem fizeram variar as doses ótimas de fósforo e de enxofre «recomendáveis» para a obtenção de 90% da produção máxima de matéria seca.
- 4) As concentrações críticas, para fósforo e enxofre, no solo variaram entre solos e dentro do mesmo solo, com relação à calagem. Nas plantas, porém, as concentrações críticas sofreram pouca variação entre solo e níveis de calagem.

5. SUMMARY

(THE EFFECTS OF PHOSPHORUS-SULFUR INTERACTION ON SOYBEAN
(*Glycine max* (L.) AS INFLUENCED BY SOIL TYPE AND LIME)

This paper reports the results obtained from research on the effects of phosphorus and sulphur on soybean, as grown on three different soils from the State of Minas Gerais.

When either phosphorus or sulphur was omitted, soybean production was low. Moreover, the data showed the necessity of a equilibrium between phosphorus and sulphur levels for maximum production.

Summarily, it was demonstrated that the phosphorus and sulphur critical concentration varied with the soils; and, in each soil, with liming. The critical concentration was also influenced by the interaction between phosphorus and sulphur.

6. LITERATURA CITADA

1. ACHARYA, N. & SUBBIAH, B.V. Radio tracer investigation on the effect of application of sulphate and phosphate on yield and uptake of sulfur and phosphorus by cotton. *Indian J. Agric. Chem.*, 4:65-72, 1971.
2. ADAMS, J.F.; ADAMS, F. & ODOM, J.W. Interaction of phosphorus rates and soil pH on soybean yield and soil solution composition of two phosphorus sufficient ultisols *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:323-328, 1982.
3. ALVAREZ V., V.H.; BRAGA, J.M.; ESTEVÃO, M.M. & PINTO, O.C.B. Equilíbrio de Formas Disponíveis de Fósforo e Enxofre em Dois Latossolos de Minas Gerais. I. Equilíbrio Fósforo-Enxofre. *Experientiae*, 1:1-29, 1976.
4. BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. *Soil Sci.* 112:116-130, 1971.
5. BRAGA, J.M.; ROCHA, D.; THIÉBAUT, J.T.L. & NEVES, M.J.B. Efeitos de fontes de fósforo sobre o crescimento de eucalipto em solo de Cerrado. *Revista Ceres*, 29:352-358, 1982.
6. CRAVO, M.S. A interação fósforo x enxofre na produção de matéria seca de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e nos níveis críticos, em três solos de Minas Gerais, com e sem calagem. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1984. 73 p. (Tese M.S.).
7. DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo (metodologia)*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão 29).
8. ELTZ, F.L.F.; GRIMM, S.S. & FOLE, D.A. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a produtividade da soja, em Oxisolo da Unidade de Mapeamento Santo Ângelo. *Agron. Sulriog.*, 11: 37-44, 1975.
9. ENSMINGER, L.E. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18:259-264, 1954.
10. FAGERIA, N.K. & SING, H. Response of wheat to soil application of nitrogen and sulphur. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1121-1126, 1982.

11. FERRARI, R.A.R.; BRAGA, J.M.; SEDIYAMA, C.S. & OLIVEIRA, L.M. de. Resposta do cultivar de soja 'Santa Rosa' à aplicação de P, K e calcário em latossolos do Triângulo Mineiro. I. Produção e Características Agronômicas. *Revista Ceres*, 23:11-20, 1976.
12. FONTES, M.P.F. *Disponibilidade do enxofre em diferentes extratores químicos em alguns latossolos do Estado de Minas Gerais*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1979. 63 p. (Tese M.S.).
13. FREITAS, L.M.M. de T.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. & FRANÇA, G.E. de. Experimentos de adubação de milho doce e soja em solos de campo cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, Série Agron., 7: 57-63, 1972.
14. GAINES, T.P. & PHATAK, S.C. Sulfur fertilization effects on the constancy of the protein N: S ratio in low-high sulfur accumulation crops. *Agronomy Journal*, 74: 415-418, 1982.
15. GOEPPERT, C.F. & FREIRE, J.R.J. Experimento sobre o efeito da calagem e do fósforo em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agron. Sulriog.*, 8: 181-186, 1972.
16. HIROCE, R. & GALLO, R. Efeito do enxofre na produção da soja. *Bragantia*, 31: XI-XII. 1972. 1972.
17. HOEFT, R.H.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:401-404, 1973.
18. KUMAR, V. & SINGH, M. Sulfur, phosphorus and molybdenum interaction in relation to growth, uptake and utilization of sulfur in soybean. *Soil Science*, 129: 297-304, 1980.
19. KUMAR, V. & SINGH, M. Interactions of sulfur, phosphorus, and molybdenum in relation to uptake and utilization of phosphorus by soybeans. *Soil Sci.* 130: 26-31. 1980.
20. KUNISHI, H.M. Combined effects of lime, phosphate fertilizer, and aluminum on plant yield from on acid soil of the Southeastern United States. *Soil Science*, 134: 233-238, 1982.
21. LIGERO, F.; LLUCH, C. & RECALDE, L. Efecto de la fertilización nitrogenada y azufrada sobre el crecimiento, superficie foliar y contenido de N, P, K, Ca y Mg en hoja de plantas de judía (*Phaseolus vulgaris* L.). *Anal. Edal. y Agrobiologia*, 40:1269-1280, 1981.
22. McCLUNG, A.C. & QUINN, L.R. *Resposta da grama batatais (Paspalum notatum) às aplicações de enxofre e fósforo*. Matão, IBEC Research Institute, 1959, 16 p. (Boletim n.º 18).
23. MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Ensaio de adubação da soja e do feijoeiro em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. *Bragantia*, 23: 45-54, 1964.
24. MUNIZ, A.S. *Disponibilidade de fósforo avaliada por extratores químicos e pelo crescimento de soja (Glycine max (L.) Merrill) em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1983. 79 p. (tese M.S.).

25. NEPTUNE, A.M.L.; TABATAI, M.A. & HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon — nitrogen — phosphorus — sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:51-55, 1975.
26. SANTOS, P.R.R.S.; NOVAIS, R.F.; FRANÇA, G.E.; FREIRE, F.M.; SANTOS, H.L. Efeito da calagem e da adubação fosfatada e potássica sobre a produção de soja no Triângulo e no Alto Paranaíba, Minas Gerais. *Revista Ceres*, 29: 459-478, 1982.
27. TURRENT, F., A. & LAIRD, R.J. *La matriz experimental Plan Puebla para ensaios sobre practicas de producción de cultivos. Escritos sobre la metodología de la investigación en productividad de agrossistemas*. Chapingo, México, Dep. Ed., Rama de Suelos, Colégio de Post-graduados, 1975. 27 p. (Boletim n.º 1).
28. VIDOR, C. & FREIRE, J.R.J. Relação de substituição entre calcário e fósforo aplicados ao solo na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agron. Sulriog.*, 8: 187-193, 1972.