

## DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE EM SOLOS BRASILEIROS. II. RESPOSTA À ADUBAÇÃO SULFATADA NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE CALAGEM\*

*Huberto José Kliemann\*\**  
*Eurípedes Malavolta\*\*\**

### RESUMO

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação com amostras superficiais de 12 solos, provenientes dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás (Brasil), com teores de carbono variando entre 0,5 e 3,03%, de enxofre total entre 0,0104 e 0,319% e de argila entre 8 e 60%. Os solos foram submetidos a dois cultivos sucessivos com milho (*Zea mays* L.), com os tratamentos: 12 solos, 3 doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S), previamente incubados na ausência e presença de calagem. A produção de matéria seca da parte aérea de milho não apresentou diferenças significativas em função dos cultivos. A absorção de enxofre, ao contrário, foi significativamente mais baixa no segundo, indicando esgotamento do enxofre nativo e aplicado aos solos. As quantidades de enxofre absorvidas no segundo cultivo foram sistematicamente menores em todos os solos estudados. Os solos arenosos têm menores potenciais de fornecimento para as plantas, devido às reservas efetivamente baixas do nutriente. Os solos argilosos, principalmente os de vegetação de cerrados e com teores mais elevados de carbono, possuem potenciais maiores de produção de matéria seca e absorção de enxofre, desde que seja neutralizada a acidez. A calagem, além de neutralizar a acidez e fornecer cálcio e magnésio como

---

\* Parte do trabalho de tese de Doutorado (ESALQ/USP) do primeiro autor. Entregue para publicação em dezembro de 1993.

\*\* Docente da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, C.P. 131. CEP. 74001-970-Goiânia-GO.

\*\*\* Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba-SP.

nutrientes, mostrou interação positiva com a adubação sulfatada, mas em compensação teve efeito sinérgico no esgotamento do enxofre nativo dos solos. As doses de enxofre que maximizaram a produção de matéria seca e absorção de enxofre variaram de 20 a 70 ppm de S dentro do universo de solos estudados.

## INTRODUÇÃO

Os fatores determinantes da resposta à adubação sulfatada mais citados na literatura universal são: a acidez dos solos, os teores de carbono, a relação C/S, os teores de enxofre disponíveis nos solos, o histórico de cultivo, a adubação NPK isenta de enxofre, presença de outros nutrientes, migração do  $S-SO_4^-$  para o subsolo e textura dos solos (BETTANY & STEWART, 1983).

Segundo COLEMAN (1966), existe maior probabilidade de deficiência de enxofre em solos arenosos. Por isso, a textura pode ser usada como um critério auxiliar para estimar o enxofre disponível. Em areias quartzosas de cerrado, CASAGRANDE & SOUZA (1982) obtiveram respostas imediatas de leguminosas e gramíneas tropicais, ao passo que em latossolo roxo eutrófico, o enxofre nativo foi suficiente.

A correlação da acidez dos solos implica na dessorção do  $S-SO_4^-$  dos sítios de adsorção (HINGSTON *et al.*, 1972) e a mineralização da matéria orgânica (WILLIAMS, 1967; METSON, 1979). Assim, o enxofre que fica disponível pela calagem pode implicar a falta de resposta e até o efeito depressivo da adubação sulfatada. COLOZZA *et al.* (1983) constataram em solos Podzólico Vermelho Amarelo (variação Laras) e Podzólico Vermelho Amarelo (fase terraço) que após a calagem o enxofre, aplicado como gesso, causou efeito depressivo no crescimento e na fixação de  $N_2$  atmosférico na soja perene. CASAGRANDE *et al.* (1982), cultivando leguminosas e gramíneas tropicais em latossolo roxo eutrófico (LR<sub>3</sub>), não obtiveram resposta à adubação sulfatada com calagem prévia.

A relação C/S muito larga ocorre frequentemente associada à acidez, principalmente em solos turfosos. Com relação C/S superior a 120, NASCIMENTO & MORELLI (1980a,b) obtiveram respostas da alfafa à aplicação de enxofre. Da mesma forma, FREIRE *et al.* (1976) lograram resposta do milho à aplicação do enxofre em solos hidromórficos com 5,7 e 19,0% de matéria orgânica, ao passo que em solos Latossolo Vermelho Escuro com 3,5% e Terra

Roxa Estruturada com 4,4%, não foi significativa. Esses fatos explicam-se pela imobilização do enxofre na matéria orgânica, que é liberado pela correção da acidez (ESMINGER, 1954; WILLIAMS, 1967).

A mineralização do enxofre em solos com altos teores de matéria orgânica pode fornecer parte do enxofre absorvido pelas plantas. Porém, o cultivo continuado pode levar à exaustão do enxofre nativo, como comprovaram Mc CLUNG *et al.* (1959). O cultivo dos solos, além disso, eleva as razões C/S e C/N/S, o que demonstra a mineralização mais intensa do enxofre do que do carbono e do nitrogênio (BETTANY & STEWART, 1983).

A exaustão do enxofre nativo dos solos pode ser acelerada pela queima de restos culturais, como é o caso de algodoeiro, como foi constatado por Mc CLUNG *et al.* (1961) e MIKKELSEN *et al.* (1963).

A indução da deficiência nos solos também ocorre pelo uso de fertilizantes isentos de enxofre. Mc CLUNG & QUINN (1959) encontraram pronta resposta à aplicação de enxofre em campo cerrado de Matão (SP), previamente adubado durante 18 meses com 450 kg de N em forma de nitrocálcio. Em solos de várzeas do Baixo Amazonas, WANG *et al.* (1976 a, b) observaram que no início do cultivo o N e o P são mais importantes, porém com três cultivos sucessivos de arroz inundado, usando formulações NPK sem enxofre, as produções voltaram aos níveis originais de 5 a 7 t/ha.

Pelo que consta, os trabalhos mais antigos relatando o efeito dos ânions acompanhantes na lixiviação de bases no perfil do solo foram conduzidos por PEARSON *et al.* (1962), em solo argiloso de Porto Rico, e por VILLAMÍZAR & LOTERO (1967), em solo Andept (cinza vulcânica) da Colômbia. Nos dois primeiros casos os autores estudaram o efeito das doses de sulfato de amônio, verificando o decréscimo do pH e da percentagem de saturação de bases na camada superficial (0-15 cm), mantendo-se praticamente constantes na camada subsuperficial. Na Colômbia foi estudado o efeito das doses e fontes de nitrogênio nas produções de capim Pangola. Após 5 anos (25 cortes) notou-se a diminuição progressiva do pH na camada de 0-20 cm, em função das doses de sulfato de amônio, enquanto que com o salitre e a uréia, o pH não apresentou alterações significativas.

Em muitos solos tropicais a camada subsuperficial possui caráter álico, o que constitui impedimento químico para o desenvolvimento radicular em profundidade. A neutralização do alumínio trocável no subsolo por meio de calcário requer incorporação profunda, mas esse procedimento tem um custo energético elevado. Por outro lado, como os materiais calcários são pouco

solúveis e ânion  $\text{CO}_3^{=}$  é pouco estável, o  $\text{Ca}^+$  não consegue migrar para o subsolo. Para estudar esse efeito RITCHEY *et al.* (1980) conduziram um experimento em condições de colunas de solos, onde foram adicionados carbonato, sulfato e cloreto de cálcio e submetidos à lixiviação. No tratamento com  $\text{CaCO}_3$ , o  $\text{Ca}^{++}$  alcançou a profundidade de apenas 15 a 25 cm. A maior profundidade foi atingida pelo cloreto (cerca de 150 cm), enquanto que o sulfato chegou aos 60 cm. O menor índice de lixiviação do sulfato, em relação ao cloreto, deve-se à adsorção específica aos óxidos de ferro e alumínio, à menor solubilidade do  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e ao fato de o cloreto não sofrer adsorção específica. Os resultados de RITCHEY *et al.* (1980) confirmam os encontrados por REEVE & SUMNER (1972), que neutralizaram o  $\text{Al}^{+++}$  trocável do subsolo com gesso, em solos sul-africanos. Os mecanismos de ação e mobilidade do sulfato de cálcio em relação ao carbonato de cálcio foram elucidados em experimento em colunas por PAVAN *et al.* (1984).

Os trabalhos de MARTINI & MUTTERS (1984) e de SHEARD (1980) permitiram verificar que a baixa recuperação do sulfato aplicado como gesso deve-se à sua migração para as camadas do subsolo e que essa recuperação tem decrescido com o aumento dos níveis de S e N e com a calagem.

O objetivo deste experimento foi o de estabelecer as curvas de resposta à adubação sulfatada, a interação com a calagem e o efeito de dois cultivos no esgotamento do enxofre nativo dos solos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As características físicas e químicas dos solos estão reunidas na Tabela I. As análises físicas (granulometria, densidade global e capacidade de embebição) e químicas de rotina foram determinadas, respectivamente, segundo EMBRAPA (1979) e CATANI & JACINTHO (1974). O carbono foi determinado pelo método Walkley-Balck (ALLISON, 1965) e o nitrogênio total, segundo BREMNER (1965). A determinação do enxofre foi feita segundo: a) digestão dos solos: metodologia de CHAPMAN & PRATT (1960), com modificações de KLIEMANN (1987); b) determinação analítica do enxofre total: metodologia de MALAVOTA (1950).

Os solos foram submetidos a dois cultivos sucessivos com milho (*Zea mays* L.), com os seguintes tratamentos: 12 unidades de solos, 3 doses de gesso e 3 repetições por tratamento, em delineamento completamente casualizado por unidade de solo.

No experimento de casa de vegetação as amostras de terra foram passadas em peneiras de 6 mm e secadas. Os solos usados constam da Tabela I. Das amostras provenientes de Anhembi, São Pedro, Pirassununga, Botucatu e Matão (SP), Catalão (GO) e São Sebastião do Paraíso (MG), utilizaram-se 5,2 kg; de Assis (SP), 3,5 kg, e de Rio Paranaíba (MG), 2,6 kg de terra seca por vaso.

Tabela I - Características gerais das amostras de terra<sup>(1)</sup> usadas no experimento (média de 3 repetições)

Solo (local e classificação)	Arcila Silt Argila			Dg <sup>(2)</sup> g/cm <sup>3</sup>	C.E. <sup>(3)</sup> %	C N S			P	K	Ca+Mg mg/100g	H+Al	pH em água	Nc <sup>(4)</sup> t/ha
	%	%	%			total	total	total						
Anhembi-SP, LVm	77,9	5,0	17,1	1,339	33,2	0,99	0,064	0,0113	6	87	1,28	3,72	5,4	1,638
São Pedro-SP, AQd	89,1	2,8	8,1	1,511	25,8	0,85	0,080	0,0141	5	47	1,36	1,33	5,0	0,374
Assis-SP, LEm	84,2	2,6	13,2	1,423	26,5	0,50	0,084	0,0104	11	13	0,32	2,13	4,4	1,388
Pirassununga1-SP, LEm (cerr)	74,6	3,0	22,4	1,344	31,6	1,10	0,062	0,0114	1	13	0,24	2,58	5,6	1,326
Pirassununga2-SP, LVm (cerr)	66,2	4,4	29,3	1,273	36,8	0,79	0,068	0,0114	4	20	0,61	2,96	5,2	1,856
Botucatu1-SP, LVm	81,2	2,4	16,4	1,385	29,7	1,18	0,092	0,0194	3	53	1,04	3,72	4,7	1,730
Botucatu2-SP, LR	35,6	6,2	58,2	1,207	43,4	1,87	0,116	0,0307	6	140	4,88	5,51	5,1	1,760
Matão-SP, LEm (cerr)	77,9	5,0	17,1	1,292	34,5	1,51	0,116	0,0244	3	77	0,00	1,98	6,0	0,430
Catalão-GO, LE d1 (cerr)	30,9	15,0	54,1	1,156	50,2	2,48	0,150	0,0260	8	40	1,22	7,07	4,1	4,406
S.S. Paraíso1-MG, LE	64,9	16,3	19,1	1,261	41,5	1,90	0,156	0,0078	1	67	2,72	4,06	6,5	1,520
S.S. Paraíso2-MG, LE	40,8	23,8	35,4	1,516	40,0	1,61	0,130	0,0137	2	47	0,08	4,96	5,4	2,283
Rio Paranaíba-MG, LV d1 (cerr)	22,4	17,4	60,2	1,154	56,4	7,03	0,164	0,0319	2	37	0,28	7,84	5,1	4,340

<sup>(1)</sup> Amostras superficiais coletadas de 0 a 20 cm de profundidade

<sup>(2)</sup> Densidade global

<sup>(3)</sup> Necessidade de calagem determinada método da saturação de bases (a 70 %), segundo QUAGGIO (1983)

<sup>(4)</sup> Capacidade de embibição

A calagem foi quantificada segundo QUAGGIO (1983), considerando-se 70% da saturação de bases, a densidade global dos solos (Tabela I), uma camada de 20 cm de solo a ser corrigida e a acidez fisiológica da uréia usada como fonte de nitrogênio, o que fez com que se acrescentassem mais 0,3445 g de corretivo por quilo de terra, além das quantidades constantes da Tabela I. Como corretivo usou-se calcário dolomítico calcinado, com PRNT de 130%.

A adubação sulfatada foi feita com gesso agrícola purificado, nas doses de 0, 20 e 40 ppm. Em seguida, as amostras de terra foram incubadas durante 20 dias, na ausência e presença de calagem, com umidade a 80% da capacidade de embebição, em sacos plásticos semi-abertos, para permitir a aeração das amostras. Semanalmente revolveram-se as amostras para prevenir ambiente anaeróbico. Finda a incubação, coletaram-se 200 g de terra (base seca ao ar), passando-as em peneira de 2 mm e acondicionando-as para análises posteriores.

Efetuararam-se dois cultivos, sendo o primeiro de 42 dias e o segundo de 48 dias. Antes do primeiro cultivo aplicaram-se, em forma de solução, os nutrientes: potássio - 150 ppm de K como fosfato monobásico de potássio; fósforo - 200 ppm, dos quais 118 ppm de P como fosfato monobásico de potássio e 82 ppm de P como fosfato monobásico de amônio; magnésio - 40 ppm de Mg como nitrato de magnésio heptaidratado; cálcio (nos tratamentos sem calagem) - 200 ppm de Ca como cálcio diidratado; molibdênio - 0,1 ppm de Mo como heptamolibdato de amônio tetraidratado; boro - 0,5 ppm de B como ácido bórico; cobre - 1,5 ppm na forma de cloreto de cobre diidratado; zinco - 5 ppm como cloreto de zinco. Aos 21 dias após a semeadura aplicou-se 90 ppm de N como uréia comercial; aos 35 dias mais 90 ppm de N e 70 ppm de K como cloreto de potássio. Na adubação de base do segundo cultivo aplicaram-se 2/3 dos nutrientes utilizados no primeiro cultivo, incluindo o cálcio nos tratamentos sem calagem. Aos 21, 35 e 42 dias após a semeadura aplicaram-se, em cada cobertura, 60 ppm de N como uréia e 70 ppm de K como cloreto de potássio.

Como planta-teste empregou-se o milho (*Zea mays*, cv. Piranão VD), com 3 plantas nos solos de Rio Paranaíba e de Assis e 5 plantas nos demais solos. Colheu-se a parte aérea, secando-a na estufa a 70 °C. A moagem do tecido vegetal foi feita usando uma peneira de 20 mesh. O peso da matéria seca dos solos do Rio Paranaíba e de Assis foi corrigido para o peso correspondente a 5 kg de terra seca ao ar, por vaso.

A digestão nítrico-perclórica (S e P totais) e sulfúrica (N total) do tecido foliar foi feita pelos procedimentos de SARRUGE & HAAG (1974). A determinação analítica do enxofre total nas plantas foi feita por método turbidimétrico preconizado por VITTI & RODELLA (1982). A determinação analítica do S-total no extrato nítrico-perclórico foi feita segundo VITTI & RODELLA (1982).

Após o primeiro cultivo a terra foi destorroada, peneirada e removidas as raízes. Tomaram-se 200 g de terra para análises. Para o segundo cultivo utilizaram-se 2,1 kg no solo de Rio Paranaíba, 3,0 kg no solo de Assis e 4,5 kg de terra seca ao ar, por vaso, nos demais.

A análise da variância foi feita individualmente para cada solo por cultivo e de forma conjunta com todos os solos pelo SAS (1982). Na análise conjunta da produção da matéria seca e da absorção de enxofre pela planta-teste, procedeu-se ao ajuste do número de graus de liberdade do resíduo segundo COCHRAN (1954), para então se fazerem as comparações de médias. Testaram-se os efeitos de solos, cultivos, calagem, adubação sulfatada e todas as interações possíveis.

A resposta à adubação sulfatada foi estimada por regressão polinomial para cada solo individualmente e de forma conjunta, agrupando-se os solos pelos seus teores de carbono, isto é, menores e maiores do que 1,2%, e por cultivo. Os máximos de produção de matéria seca e absorção de enxofre foram estimados, dentro da faixa de doses de enxofre (0, 20 e 40 ppm de S) aplicados, pelo modelo de regressão polinomial (linear e quadrática).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela II encontram-se os dados de produção de matéria seca e absorção de enxofre pela parte aérea do milho, em dois cultivos sucessivos.

A alta significância dos valores de F deve-se aos diferentes potenciais de produção dos solos (veja Tabela III). Todas as interações observadas entre os solos, cultivos, calagem e adubação sulfatada demonstram a desigual capacidade de suprimento de enxofre pelos solos. Chama atenção a não-significância de F na produção de matéria seca e a alta significância de F da absorção de enxofre em função dos dois cultivos. Nas condições do experimento, as altas quantidades de N, P, K e micronutrientes aplicados antes dos

cultivos e de N e K em cobertura forçaram o crescimento do milho, levando ao esgotamento do enxofre nativo e do aplicado ao solo. Verifica-se que, embora as diferenças significativas nas produções médias de matéria seca, analisando cada solo individualmente, tenham sido ora maiores no primeiro cultivo, ora no segundo, as diferenças na absorção de enxofre foram sistematicamente menores no segundo cultivo, em todos os solos. FREITAS & JORGE (1982) obtiveram respostas significativas de produção de matéria seca de *Cynodon dactylon* L. Pers. à aplicação de enxofre, a partir do terceiro ano, apesar de o solo estudado (LVd, Matão, SP) ter baixo teor de matéria orgânica.

Tabela II. Produção de matéria da parte aérea do milho e absorção de enxofre em função da calagem e adubação sulfatada em dois cultivos sucessivos. (médias de 3 repetições)

Solos (locais)	Níveis de S ppm	Produção de matéria (g/vaso)						Absorção de enxofre (mg/vaso)					
		sem calagem			com calagem			sem calagem			com calagem		
		C <sup>(1)</sup>	0	20	40	0	20	40	0	20	40	0	20
Anhembi	1	28,50	45,98	34,37	48,88	50,78	39,3	59,8	55,0	73,0	92,0	92,0	81,2
	2	18,38	20,93	31,01	22,81	31,43	11,5	41,7	50,4	19,4	19,4	39,1	60,9
São Pedro	1	21,91	22,21	27,71	30,33	29,81	33,33	30,6	46,6	55,4	45,3	53,3	60,0
	2	16,50	20,81	31,01	23,81	26,35	31,43	13,6	16,6	31,0	14,3	25,5	31,4
Assis	1	25,87	33,09	35,04	28,11	37,45	39,17	20,5	39,7	52,5	22,4	37,4	58,9
	2	13,20	28,22	28,34	11,44	21,59	21,47	7,9	22,6	25,5	5,8	12,9	17,2
Pirassununga1	1	23,44	25,83	25,87	34,35	33,42	33,42	18,7	41,3	43,6	31,1	43,9	50,1
	2	9,90	34,55	34,11	32,52	32,52	31,32	5,9	29,4	40,8	7,0	26,3	34,4
Pirassununga2	1	24,01	34,73	34,36	24,78	41,47	36,86	18,8	55,6	68,8	29,7	55,3	68,3
	2	22,81	31,40	34,94	11,06	41,33	44,92	13,7	28,3	52,4	7,7	33,1	62,9
Botucatu1	1	33,97	32,40	34,28	34,28	43,37	39,10	61,1	58,3	61,7	47,7	54,9	54,7
	2	33,90	46,38	75,69	75,69	28,58	64,93	61,0	83,5	113,5	34,3	76,8	84,4
Botucatu2	1	35,47	46,32	37,17	42,87	45,98	43,97	49,6	78,9	55,7	59,7	64,3	61,5
	2	30,21	33,28	24,87	42,77	73,26	61,49	45,3	63,2	67,3	47,0	119,9	79,9
Matão	1	41,73	58,80	50,13	41,85	52,05	39,92	58,5	141,5	110,3	66,8	124,9	103,8
	2	19,20	63,69	55,55	13,99	38,43	59,43	13,4	50,9	55,5	8,4	31,5	65,4
Catalão	1	40,90	44,92	40,13	55,07	54,77	54,43	94,1	112,3	136,4	143,2	164,3	163,3
	2	28,27	57,67	83,49	66,85	75,14	79,41	22,6	63,8	100,3	66,9	90,2	95,3
S. Sebastião do Paraíso1	1	38,04	49,43	53,07	38,54	44,63	46,95	61,3	132,6	159,2	83,0	142,8	140,8
	2	16,47	45,22	51,20	19,27	43,01	55,49	11,5	36,2	66,8	13,5	43,0	61,0
S. Sebastião do Paraíso2	1	23,40	38,27	33,77	34,24	43,08	39,77	53,8	90,7	77,7	68,5	99,1	70,5
	2	17,98	43,09	41,24	38,75	45,15	58,62	10,7	43,1	61,9	34,9	63,2	82,1
Rio Paranaíba	1	18,07	42,51	39,45	42,15	39,03	44,34	27,1	80,8	106,5	84,3	85,7	102,0
	2	16,46	30,59	55,13	28,78	55,86	64,95	9,9	21,4	66,1	23,0	55,9	77,9

<sup>(1)</sup> Primeiro e segundo cultivos dos solos



Tabela III - Quadro de médias de produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre, comparando-se os efeitos de solos, cultivos, calagem e adubação sulfatada

Fontes	Matéria seca (g/vaso)			Absorção de enxofre (mg/vaso)		
	C1	C2	Conjunto	C1	C2	Conjunto
<b>SOLOS</b>	n = 18 <sup>(1)</sup>		n = 36 <sup>(2)</sup>	n = 18 <sup>(3)</sup>		n = 36 <sup>(4)</sup>
Anhembi	42,71 a*	38,33 b	40,52 a	66,44 a	36,52 b	51,48 f
São Pedro	27,50 a	25,32 a	26,41 g	47,82 a	21,40 b	34,61 hi
Assis	47,09 a	29,51 b	38,30 e	55,57 a	21,18 b	38,38 gh
Pirassununga 1	29,55 a	25,41 b	27,48 g	37,81 a	25,75 b	34,78 i
Pirassununga 2	32,68 a	28,96 b	30,82 f	50,07 a	31,54 b	40,82 g
Botucatu 1	37,56 b	50,69 a	44,21 b	71,73 a	63,29 b	67,51 cd
Botucatu 2	42,42 a	44,87 a	43,65 bc	75,96 a	60,84 b	68,40 cd
Matão	47,85 a	41,88 b	44,86 b	103,36 a	37,39 b	70,38 c
Catalão	48,35 b	65,15 a	56,75 a	135,60 a	72,38 b	103,99 a
S.S. Paraisol	45,06 a	38,44 b	41,75 cd	121,41 a	38,15 b	79,78 b
S.S. Paraiso 2	35,25 b	40,76 a	38,01 e	79,17 a	49,38 b	64,27 de
Rio Paranaíba	37,65 b	41,93 a	39,79 de	80,08 a	41,58 b	60,83 ef
<b>CULTIVOS</b>	n = 216 <sup>(5)</sup>		-	n = 216 <sup>(6)</sup>		-
	39,47 a	39,27 a	-	77,08 a	42,68 b	-
<b>CALAGEM</b>	n = 108 <sup>(7)</sup>		n = 216 <sup>(8)</sup>	n = 108 <sup>(9)</sup>		n = 216 <sup>(10)</sup>
Ausência	36,61 b	35,76 b	36,19 b	70,69 b	37,38 d	54,03 b
Presença	42,33 b	42,78 a	42,56 a	83,48 a	45,85 c	64,67 a
<b>GESSAGEM</b>	n = 72 <sup>(11)</sup>		n = 144 <sup>(12)</sup>	n = 72 <sup>(13)</sup>		n = 144 <sup>(14)</sup>
0 ppm S	35,32 d	23,66 c	29,46 c	56,54 d	19,76 f	38,15 c
20 ppm S	42,31 b	43,59 b	42,95 b	85,60 b	44,68 e	65,14 b
40 ppm S	40,79 c	50,56 a	45,67 a	89,11 a	60,41 c	74,76 a

\* Diferenças mínimas significativas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. Médias seguidas das mesmas letras (nos mesmos conjuntos de comparações) não diferem significativamente

<sup>(1)</sup> DMS=3,24; <sup>(2)</sup> DMS=2,11; <sup>(3)</sup> DMS=6,40; <sup>(4)</sup> DMS=4,17; <sup>(5)</sup> DMS=0,59; <sup>(6)</sup> DMS=1,16; <sup>(7)</sup> DMS=1,02; <sup>(8)</sup> DMS=0,59; <sup>(9)</sup> DMS=2,01; <sup>(10)</sup> DMS=1,16; <sup>(11)</sup> DMS=1,34; <sup>(12)</sup> DMS=0,81; <sup>(13)</sup> DMS=2,80; <sup>(14)</sup> DMS=1,61  
C1 e C2 - 1.º e 2.º cultivos

Na análise conjunta dos dois cultivos, por solo, notou-se grandes diferenças na capacidade de suprimento de enxofre. Essa evidência é complementada se considerados os efeitos da calagem e da adubação sulfatada nos dois cultivos. A diferença não significativa da produção de matéria dentro de cultivos, porém significativa dentro de calagem, mostra que o enxofre nativo é insuficiente para o rendimento máximo de matéria seca do milho. Por outro lado, a diferença altamente significativa na absorção de enxofre, dentro

de calagem e de cultivos, demonstra que há disponibilização de enxofre nativo via correção da acidez, o que é confirmado pelos potenciais de mineralização obtidos por KLIEMANN (1987). MARTINI & MUTTERS (1984) verificaram que a calagem, nos níveis normalmente recomendados para os solos costeiros da Carolina do Sul (EUA), aumenta a produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho. Todavia, dobrando-se as doses recomendadas, a calagem deprimiu o crescimento e a absorção de enxofre, por causa das maiores quantidades de  $S-SO_4^-$  lixiviados dos solos para os pratos de drenagem.

O esgotamento progressivo do enxofre nativo aplicado aos solos é evidenciado pelos efeitos da adubação sulfatada, dos cultivos e da calagem (Tabela III e IV). A produção de matéria seca de milho em vasos, em função das doses de adubação sulfatada, não se constitui, nas condições deste experimento, num bom indicador de exportação de enxofre dos solos, devido ao efeito diluidor das altas quantidades de nitrogênio e potássio aplicados. JANZEN & BETTANY (1984) atribuem às altas doses de N e ao insuficiente suprimento de S a acumulação de metabólitos tóxicos de N e a depressão da produção de sementes de colza (*Brassica napus*).

As quantidades de enxofre absorvido pelo milho em cada solo individualmente mostram diferentes potenciais de suprimento de enxofre para as plantas. Na Tabela III constata-se que o solo de Catalão foi o que forneceu a maior quantidade de enxofre (sem isolar o efeito calagem), seguido dos solos de São Sebastião do Paraíso-1, Matão, Botucatu-1, Botucatu-2, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba. Os solos restantes (mais arenosos e com menores teores de carbono) absorveram menores quantidades de enxofre. No entanto, é essencial que se leve em consideração os efeitos da calagem e dos cultivos, para avaliar o potencial de fornecimento de enxofre nativo, conforme demonstrou KLIEMANN (1987), em cujo trabalho são estudadas as relações da absorção de enxofre pelo milho versus teores de carbono, enxofre total e potenciais de mineralização dos solos.

O valor de enxofre máximo ( $X_{max}$ , Tabela IV), que estima a produção máxima de matéria seca ( $Y_{max}$ ) no primeiro cultivo, nos solos arenosos, na ausência de calagem, foi de 17 ppm de S aplicado, elevando-se para 52,4 ppm no segundo; na presença de calagem, os valores máximos de enxofre foram de 32,9 ppm de S no primeiro cultivo e 37,7 ppm no segundo. Nos solos com teores de carbono superiores a 1,2%, os valores de enxofre máximos, na ausência de calagem, foram de 15,4 ppm de S no primeiro e de 36,2 ppm no segundo cultivo; na presença de calagem obtiveram-se valores

de 24,2 e 40,2 ppm, respectivamente. Entretanto, os valores de enxofre ( $X_{max}$ ) estimados para os tratamentos com calagem não são confiáveis, como mostram os respectivos coeficientes de determinação. Podem-se apontar como causas da não-significância, a variada resposta dos solos à calagem e à conseqüente

Tabela IV - Valores máximos de matéria seca (g/vaso) versus doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S), na ausência e presença de calagem e em dois cultivos dos solos, de forma individual e conjunta

Solos	Sem calagem							Com calagem						
	C <sup>(1)</sup>	E <sup>(2)</sup>	N <sup>(3)</sup>	R <sup>2</sup>	P< $\alpha$	$X_{max}$	$Y_{max}$	C	E	N	R <sup>2</sup>	P< $\alpha$	$X_{max}$	$Y_{max}$
Matéria seca														
Solos (C < 1,2 %)	1	2	54	0,1825	0,05	17,00	33,02	1	2	54	0,0565	n.s.	-	-
	2	2	54	0,4794	0,01	52,04	44,55	2	2	54	0,4485	0,01	37,70	43,72
Solos (C > 1,2 %)	1	2	54	0,3174	0,01	15,45	44,84	1	2	54	0,0730	n.s.	24,30	46,60
	2	2	54	0,5208	0,01	36,16	52,37	2	2	54	0,4948	0,01	40,23	63,16
Absorção de enxofre														
Anhembi	1	2	9	0,9979	0,01	25,85	65,11	1	2	9	0,8763	0,01	43,18	90,54
	2	2	9	0,9672	0,01	23,11	50,76	2	1	9	0,9550	0,01	4 <sup>(4)</sup>	-
São Pedro	1	2	9	0,9480	0,01	64,28	59,56	1	2	9	0,8012	0,01	28,64	56,10
	2	2	9	0,9678	0,01	-	-	2	2	9	0,9602	0,01	54,26	31,51
Assis	1	2	9	0,9885	0,01	35,77	86,86	1	1	9	0,9394	0,01	-	-
	2	2	9	0,9790	0,01	35,97	35,30	2	1	9	0,9394	0,01	-	-
Pirassununga1	1	2	9	0,9881	0,01	32,99	42,29	1	2	9	0,8355	0,01	93,60	43,70
	2	2	9	0,9912	0,01	-	-	2	1	9	0,9244	0,01	-	-
Pirassununga2	1	2	9	0,9835	0,01	44,38	70,40	1	2	9	0,9638	0,01	33,68	68,90
	2	1	9	0,9526	0,01	-	-	2	1	9	0,9819	0,01	-	-
Botucatu1	1	2	9	0,7657	0,01	21,33	99,16	1	2	9	0,2487	n.s.	-	-
	2	2	9	0,9646	0,01	18,75	42,94	2	2	9	0,9951	0,01	36,18	87,20
Botucatu2	1	2	9	0,9321	0,01	21,12	80,65	1	2	9	0,9730	0,01	20,72	73,04
	2	2	9	0,8398	0,01	17,98	51,44	2	2	9	0,9540	0,01	24,00	111,80
Matão	1	2	9	0,9898	0,01	27,12	142,30	1	2	9	0,9607	0,01	24,72	128,90
	2	2	9	0,9862	0,01	-	-	2	2	9	0,9650	0,01	39,47	95,31
Catalão	1	2	9	0,9474	0,01	24,04	101,00	1	2	9	0,7454	0,01	28,94	166,31
	2	1	9	0,9925	0,01	32,80	57,77	2	1	9	0,9783	0,01	-	-
S.S.Paraíso1	1	2	9	0,9651	0,01	42,39	161,31	1	2	9	0,9743	0,01	30,03	149,77
	2	1	9	0,9659	0,01	-	-	2	1	9	0,9777	0,01	-	-
S.S.Paraíso2	1	2	9	0,9632	0,01	23,20	90,46	1	2	9	0,8370	0,01	22,54	98,60
	2	1	9	0,9659	0,01	-	-	2	1	9	0,9705	0,01	-	-
Rio Paranaíba	1	2	9	0,9515	0,01	49,70	107,36	1	2	9	0,6777	0,01	-	-
	2	2	9	0,9910	0,01	-	-	2	2	9	0,9909	0,01	69,90	90,12
Solos (C < 1,2 %)	1	2	9	0,5141	0,01	38,08	62,32	1	2	54	0,2099	0,01	42,85	68,82
	2	2	9	0,5162	0,01	-	-	2	2	54	0,3896	0,01	-	-
Solos (C > 1,2 %)	1	2	9	0,3915	0,01	30,62	112,42	1	2	54	0,2163	0,01	30,97	121,47
	2	2	9	0,5893	0,01	-	-	2	2	54	0,4816	0,01	41,23	109,83

<sup>(1)</sup> C - 1: primeiro cultivo; 2: segundo cultivo <sup>(2)</sup> E - 1: equação da reta; 2: equação quadrática. <sup>(3)</sup> N - número de pares de observações

<sup>(4)</sup> Valores máximos de matéria orgânica seca estimados ( $Y_{max}$ ) com os valores de S no solo  $X_{max}$

<sup>(5)</sup> Valores máximos de X ( $X_{max}$ ) fora da faixa de níveis de S aplicado (0 a 40 ppm) e/ou o modelo não permitiu o cálculo de  $X_{max}$

disponibilidade de enxofre (mineralização do enxofre orgânico e dessorção de  $S-SO_4^-$ ) e os diferentes volumes de solo explorados, porque o experimento foi conduzido com base no peso dos solos. Mc CLUNG *et al.* (1959) observaram aumento de produção de matéria seca de milho com o aumento do volume dos solos (porém com as dosagens de enxofre aumentadas de 1 a 2 vezes); todavia, quando se aumentaram os volumes dos solos de 2 para 4 vezes, a produção se manteve constante. O formato das curvas foi essencialmente igual para todos os volumes.

Nas condições deste experimento observou-se em ambos os cultivos grande acúmulo de raízes nos fundos dos vasos, o que também foi constatado por Mc CLUNG *et al.* (1959), utilizando vasos de tamanho médio e pequeno. Devido às limitações do sistema radicular em experimentos em vasos, o potencial de fornecimento de qualquer nutriente deve ser estimado através das quantidades retiradas pelo elemento em estudo (GASSER, 1963).

Na Tabela IV, encontram-se também as equações de regressão da absorção de enxofre pela parte aérea do milho versus doses de enxofre (0, 20 e 40 ppm de S). Ao contrário da produção de matéria seca, na absorção de enxofre as regressões são sistematicamente significativas na ausência e presença de calagem e dentro de cada cultivo. O efeito da calagem deve-se à mineralização e à dessorção de  $S-SO_4^-$ , que se torna mais evidente no segundo cultivo na maioria dos solos, nos quais a equação da reta apresenta melhor grau de ajustamento aos dados de observação. Nesses solos as doses máximas de enxofre aplicado (40 ppm de S) revelaram-se insuficientes para maximizar a absorção no segundo cultivo.

No caso dos solos arenosos, embora em alguns solos a regressão polinomial de segundo grau tenha dado melhor ajustamento (com exceção do solo de Botucatu-1), as absorções máximas estimadas extrapolam a dose máxima de enxofre aplicado. No solo de Botucatu-1, apesar de ser arenoso, a regressão não se mostrou significativa na presença de calagem no primeiro cultivo; no segundo cultivo, a regressão de segundo grau estimou o ponto de máxima absorção com 36,2 ppm de enxofre aplicado. Presume-se, embora não se tenha informações a respeito, que o solo tenha sido adubado com alguma formulação de fertilizante com enxofre, em cultivos anteriores, a campo.

No solo de Botucatu-2, a resposta à calagem deve ser debitada ao baixo teor de magnésio no solo relativamente ao cálcio e não ao enxofre, pois a absorção máxima de enxofre ocorreu com 20 e 24 ppm de enxofre, respectivamente, para o primeiro e segundo cultivos. No solo de Matão a calagem

provocou efeito depressivo na absorção de enxofre. A quantidade de 0,43 t/ha de calcário aplicado não oferece nenhuma explicação aceitável para essa diminuição do enxofre absorvido.

Nos solos de Catalão, São Sebastião do Paraíso-1, São Sebastião do Paraíso-2 e Rio Paranaíba pode-se observar o efeito altamente significativo da calagem através dos interceptos das regressões, tanto do primeiro quanto do segundo cultivo. Em solos de cerrado, como o de Catalão, a calagem, além de neutralizar a acidez, o alumínio e o manganês trocáveis e mineralizar a matéria orgânica, tem a importante função de fornecer cálcio e magnésio como nutrientes.

Segundo trabalho de RITCHEY *et al.* (1980), as camadas superficial e subsuperficial dos latossolos vermelho-escuro-orto, em que se pode enquadrar o solo de Catalão, são extremamente pobres em cálcio e magnésio. Apesar de se ter aplicado, na ausência da calagem, 200 ppm de cálcio antes do primeiro cultivo, essas quantidades podem ter sido insuficientes para o desenvolvimento vegetativo do milho. Por outro lado, a linearidade da equação de regressão no segundo cultivo, na ausência de calagem, sugere que a calagem provoca a desorção de apreciável quantidade de  $S-SO_4^-$ . Com a calagem a absorção máxima de enxofre ocorreu com cerca de 30 ppm de S para o primeiro cultivo e 40 ppm para o segundo. No solo de São Sebastião do Paraíso-1 e São Sebastião do Paraíso-2 nota-se, da mesma forma, alta resposta à calagem, que também é atribuível ao fornecimento de cálcio e magnésio como nutrientes. Porém, nesses solos a linearidade da equação no segundo cultivo, na ausência e presença de calagem, sugere pequeno potencial de suprimento de enxofre às culturas, principalmente no solo de São Sebastião do Paraíso-1, cujo teor de enxofre total (determinado por gravimetria) chega a apenas 78 ppm. A deficiência de enxofre em solos de São Sebastião do Paraíso (MG) também foi detectada por GUIMARÃES *et al.* (1983), onde o efeito do gesso foi atribuído ao fornecimento simultâneo de cálcio e enxofre e à neutralização do alumínio subsuperficial.

No solo de Rio Paranaíba, as equações de regressão indicam ação simultânea da calagem e da adubação sulfatada na absorção de enxofre. Esse solo é naturalmente pobre em cálcio e magnésio e, além disso, dados de KLIEMANN (1987) mostraram que neste solo a calagem aumenta a mineralização de enxofre em mais de 100%. Embora o enxofre total nesse solo seja superior a 3200 ppm, as doses máximas aplicadas (40 ppm de S) não foram suficientes para maximizar a absorção do enxofre. Apesar de não se

conhecerem trabalhos específicos de adsorção de  $S-SO_4^-$  nesse tipo de solo de cerrado, levanta-se a hipótese da sua capacidade de adsorção de ânions ser bastante elevada, baseada na menor eficiência de extração de  $S-SO_4^-$  pelo extrator  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ -500 ppm de P em HOAc 2,0 N, comparado com os demais solos estudados (KLIEMANN, 1987).

Analisando os solos de forma conjunta, as equações de regressão mostram que a calagem proporciona certo aumento na absorção de enxofre apenas no primeiro cultivo, ao passo que no segundo, na ausência e presença de calagem, as equações apresentam formato praticamente linear, indicando esgotamento do enxofre liberado pela calagem e do adicionado pela adubação. Nos solos mais argilosos a maximização da absorção, na ausência de calagem, não foi atingida com a dose máxima de 40 ppm de S; na presença de calagem, o máximo foi estimado com 41,2 ppm de S. Nota-se, assim, que os solos mais argilosos (concomitantemente os de maior teor de carbono) possuem maior reserva de enxofre, passível de ser colocado à disposição das plantas.

Os trabalhos mais antigos de Mc CLUNG *et al.* (1961) com algodão, de MIKKELSEN *et al.* (1963) com milho, ambos em solos de campos cerrados, e WANG *et al.* (1976 a,b) com arroz inundado, as produções máximas foram obtidas com quantidades de enxofre (como S elementar) variando de 20 a 40 kg/ha. Deve-se, no entanto, estar atento para o número "mágico" de 30 kg/ha de S – acima do qual as culturas não respondem a S – que pode não ser verdadeiro para espécies e cultivares de alto potencial produtivo, que respondem a altas doses de N, como algumas variedades atuais de milho e arroz. Com base nos resultados deste experimento e assumindo que 1 ppm de S corresponde a 2 kg/ha de S, o milho tem condições de responder a doses de enxofre superiores às aplicadas, principalmente em condições de campo, em que o  $S-SO_4^-$  pode ser lixiviado para as camadas subsuperficiais, como atesta o trabalho de MARTINI & MUTTERS (1984). Por outro lado, altas doses de N e P sem a suficiente contrapartida de S, podem induzir a razões N/S e P/S nutricionalmente inadequadas (KLIEMANN, 1987).

## CONCLUSÕES

A produção de matéria seca de milho não apresentou diferenças significativas em função dos cultivos. A absorção de enxofre, ao contrário, foi significativamente mais baixa no segundo, indicando esgotamento do enxofre

nativo e aplicado dos solos. As quantidades de enxofre absorvidas no segundo cultivo foram sistematicamente menores em todos os solos estudados.

Os solos arenosos têm menores potenciais de fornecimento para as plantas, devido às reservas efetivamente baixas do nutriente. Os solos argilosos, principalmente os de vegetação de cerrados e com teores mais elevados de carbono, possuem potenciais maiores de produção de matéria seca e absorção de enxofre, desde que seja neutralizada a acidez.

A calagem, além de neutralizar a acidez e fornecer cálcio e magnésio como nutrientes, mostrou interação positiva com a adubação sulfatada, mas em compensação teve efeito sinérgico no esgotamento do enxofre nativo dos solos.

A dose de 40 ppm de S aplicado não foi suficiente para maximizar a produção de matéria seca e absorção de enxofre, principalmente nos solos mais argilosos, na ausência de calagem. Em experimentos futuros recomenda-se trabalhar com níveis mais elevados de enxofre. As doses de enxofre que maximizaram a produção de matéria seca e absorção de S variaram de 20 a 70 ppm nos solos estudados.

## ABSTRACT

### SULPHUR AVAILABILITY IN BRAZILIAN SOILS. II. RESPONSE TO SULPHUR FERTILIZING IN PRESENCE AND ABSENCE OF LIMING.

A greenhouse experiment was carried out with surface samples of 12 soils from States of São Paulo, Minas Gerais and Goiás (Brazil) were used. Carbon (C) content varied from 0.50 to 3.03%, sulphur from 0.0104 to 0.0319% and clay varied from 8 to 60%. Corn (*Zea mays* L.) was grown in two successive croppings in presence of three rates of S (0, 20 and 40 ppm) applied as gypsum, previously incubated in presence and absence of lime. Dry matter production did not show significant difference due to the two croppings of the soils; sulphur uptake, otherwise, was thoroughly lower in the second cropping, indicating the depletion of native and applied sulphur. Sandy soils have a lower supplying power of sulphur due to its effective small reserve. Clayey soils, moreover "cerrado" soils with higher carbon contents, possess greater croppings and sulphur uptake potentials, provided the soil acidity is neutralized. Liming, besides its role as soil acidity neutralizer and as calcium and magnesium supplier, showed positive interaction with sulphur and a synergistic effect on the depletion of soils native sulphur. The rates of sulphur which maximized dry matter yield and sulphur absorption varied in the range of 20 to 70 ppm, being the highest requirements found in clayey soils with no liming.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ALLISON, L.E. Organic carbon. In: BLACK, C.A. *et al.* (ed.). *Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties*. Madison, ASA, cap.90, 1965, p.1367-1378. (Agronomy, 9).
- BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B. Sulphur cycling in soils. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE TÉCNICAS NUCLEARES EM ESTUDOS DE FERTILIDADE DO SOLO E FERTILIZANTES, Piracicaba, CENA/USP. 1983. *Anais*
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties*. Madison, ASA, 1965, cap.83, p.1149-78. (Agronomy, 9).
- CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C. Efeitos de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas tropicais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.17, n.1, 1982, p.21-5.
- CASAGRANDE, J.C.; SOUZA, O.C.; SCHUNKE, R.M. Avaliação da fertilidade de quatro solos do Mato Grosso do Sul: enxofre e micronutrientes. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.17, n.3, 1982, p.381-4.
- CATANI, R.A.; JACINTHO, O. 1974. *Avaliação da fertilidade do solo; métodos de análise*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974, 56p. (mimeo).
- CHAPMAN, H.; PRATT, F.P. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. Davis, Universidade da Califórnia. 1961. 309p.
- COCHRAN, W.G. The combination of estimates from different experiments. *Biometrics*, Fort Collins, v.10, n.1, 1954, p.101-29.
- COLEMAN, R. The importance of sulfur as plant nutrient in world crop production. *Soil Sci.*, Baltimore, v.101, n.4, 1966, p.230-9.
- COLOZZA, M.T.; SAVASTANO, S.A.L.; WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Efeitos da aplicação de gesso e calcário dolomítico em dois solos ácidos



- cultivados com soja perene. *Bol. Ind. An.*, Nova Odessa, SP, v.44, n.1, 1983, p.75-96.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análises de solos*. Rio de Janeiro. 1979. (mimeo).
- ESMINGER, L.E. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.18, n.2, 1954, p.259-64.
- FIELDER, M.; SCHOFIELD, K.K. Mechanisms of ion adsorption by inorganic soil colloids. *N. Z. J. Soil Sci.*, Wellington, v.3, n.5, 1960, p.563-79.
- FREIRE, J.C.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. de; CARVALHO, J.G. de. 1976. Influência do enxofre na produção de matéria seca do milho. *Agros*, Lavras, v.2, n.1, 1976, p.35-46.
- FREITAS, L.M.M de; JORGE, P.N. Resposta de capim swanee-bermuda à aplicação de nitrogênio, fósforo e enxofre em região de cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.6, n.3, 1982, p.195-202.
- GASSER, J.R.K. Soil nitrogen. VI. Correlation between laboratory measurements of soil mineral N and crop yields and responses in pot and field experiments. *J. Sci. Food Agr.*, London, v.12, n.2, 1963, p.562-73
- GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; FREIRE, F.M. Influência do gesso e do calcário como corretivos e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 10, Poços de Caldas, 1983. *Anais...*, 1983. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café. p.164-5.
- HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.23, n.1, 1972, p.1966-92.

- JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. Sulfur nutrition of rapeseed. I. Influence of fertilization nitrogen and sulfur rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.48, n.1, 1984, p.100-7.
- JENSEN, J. Some investigations on plant uptake of sulphur. *Soil Sci.*, Baltimore, v.95, n.1, 1963, p.63-7.
- KLIEMANN, H.J. Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros. Piracicaba, SP, 1987. Tese de Doutorado ESALQ/USP. 231p.
- MALAVOLTA, E. Estudo sobre o enxofre. Piracicaba, 1950. Tese de Livre-docência-ESALQ/USP. Piracicaba. S.P. 93p.
- MARTINI, J.A.; MUTTERS, R.G. Effect of liming and fertilization on sulfur availability, mobility and uptake in cultivated soils in South Carolina. *Soil Sci.*, Baltimore, v.138, n.6, 1984, p.403-10.
- Mc CLUNG, A.C.; QUINN, L.R. *Resposta da grama batatais (Paspalum notatum L.) às aplicações de enxofre e fósforo*. São Paulo: Instituto de Pesquisas IRI, 1959. (Boletim técnico, 29).
- MC CLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de; LOTT, W.L. Analysis of several brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.23, n.2, 1959, p.221-4.
- Mc CLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de; MIKKELSEN, D.S.; LOTT, W.L. *Adubação do algodoeiro em solos de campo cerrado no Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Pesquisa IRI, 1961, 34p. (Boletim técnico, 27).
- METSON, A.J. Sulphur in New Zealand soils. I. A review of sulphur in soils with particular reference to adsorbed sulphate- sulphur. *N. Z. J. Agr. Res.*, Wellington, v.4, n.2, 1979, p.117-85.
- MIKKELSEN, D.S.; FREITAS, L.M.M.de; Mc CLUNG, A.C. 1963. *Efeitos da calagem e da adubação na produção de algodão, milho e soja em três*

*solos de campo cerrado*. São Paulo: Instituto de Pesquisas IRI, 1963. (Boletim técnico, 29).

NASCIMENTO, J.A.L. do; MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solos. *Rev. bras. Ci. Solo*, Campinas, v.4, n.3, 1980a, p.131-5.

NASCIMENTO, J.A.L. do; MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II. Disponibilidade. *Rev. bras. Ci. Solo*, Campinas, v.4, n.3, 1980b, p.135-3.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime and gypsum application on a brazilian oxisol. *Soil Sci. So. Am. J.*, Madison, v.48, n.1, 1984, p.33-8.

PEARSON R.W.; ABRUDA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. Effects of lime and nitrogen applications on the downward movement of Ca and Mg in two humid tropical soils in Puerto Rico. *Soil Sci.*, Baltimore, v.98, n.1, 1962, p.77-82.

PEDROSO, P.A.C.; VITTI, G.C.; DE NADAI, O.E.; GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; MALAVOLTA, M.L.; MALAVOLTA, E. *Efeito de fontes e doses de enxofre em culturas de interesse econômico. IV. Café*. São Paulo: SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986, 41p. (Boletim técnico, 4).

QUAGGIO, J.A. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solos. In: RAIJ, B. VAN *et al.* (coord.) *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983, p.33-48.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of sub-soil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. *Agrochemophysics*, Pretoria, v.4, 1972, p.1-6.

- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a brazilian savannah soil. *Agron. J.*, Madison, v.72, n.1, 1980, p.40-4.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Manual de análise foliar*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974, 56p. (mimeo).
- SAS INSTITUTE INC. *SAS user's guide; statistics*. North Carolina: NCSU, 1982.
- SHEARD, R.W. Initial and residual utilization by alfalfa and bromegrass of sulphur from 35S-labelled gypsum. *Comm. Soil Sci. Plant. Nutr.*, New York, v.11, n.6, 1980, p.605-19.
- VILLAMÍZAR, F.; LOTERO, J. Repuesta del pasto Pangola a diferentes fuentes y dosis de nitrógeno. *Rev. Inst. Col. Agropec.*, Bogotá, v.2, n.3, 1967, p.57-70.
- VITTI, G.C.; RODELLA, A.A. *A determinação do enxofre-sulfato em matéria vegetal pelo método turbidimétrico*. Jaboticabal: Fac. Ci. Vet. Agr. - UNESP, 1982, 13p. (mimeo).
- VITTI, G.C.; SUZUKI, J. *A determinação do enxofre-sulfato pelo método turbidimétrico*. Jaboticabal, Fac. Vet. Agr. - UNESP, 1978, 13p. (mimeo).
- WANG, C.H.; LIEM, T.H.; MIKKELSEN, D.S. *Sulfur deficiency - a limiting factor in rice production in the low Amazon basin. I. Development of sulfur deficiency as a limiting factor in rice production*. New York: IRI Res. Institute, 1976a, 54p. (Boletim técnico, 47).
- WANG, C.H.; LIEM, T.H.; MIKKELSEN, D.S. *Sulfur deficiency - a limiting factor in rice production in the low Amazon basin. II. sulfur requirement for production*. New York: IRI Res. Institute, 1976b, 46p. (Boletim técnico, 47).
- WILLIAMS, C.H. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soils. *Plant & Soil*, The Hague, v.26, n.2, 1967, p.205-22.