

# DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE EM SOLOS BRASILEIROS. IV. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FORNECIMENTO DE ENXOFRE NATIVO PARA AS PLANTAS\*

*Huberto José Kliemann\*\**

*Euripedes Malavolta\*\*\**

## RESUMO

Conduziu-se em laboratório um experimento de incubação aberta com solos dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás na ausência e presença de calagem, em colunas com 50 g de terra e umidade estabilizada a 60 cm de Hg. Submeteram-se os solos à lixiviação com KCl 0,01M em intervalos de duas semanas durante um período de 14 semanas. Um segundo experimento, conduzido em casa de vegetação, com dois cultivos sucessivos, teve o milho (*Zea mays* L.) como planta-teste. Usou-se, em ambos, um delineamento fatorial completo, com 12 solos e 3 doses de enxofre (0, 20 e 40 ppm de S). Os teores de enxofre total, carbono e potenciais de mineralização de enxofre dos solos foram correlacionados com o enxofre absorvido pela parte aérea do milho. O enxofre total dos solos não apresentou correlação significativa com a absorção de enxofre ( $r=0,234$  n.s.). A percentagem de carbono dos solos correlacionou-se significativamente com a absorção de enxofre pelo milho na presença de calagem ( $r=0,754^{**}$ ,  $n=36$ ), sendo mais baixa na sua ausência ( $r=0,457^*$ ,  $n=36$ ). Os potenciais de mineralização de enxofre correlacionaram-se significativamente com a absorção de enxofre na presença de calagem ( $r=0,797^{**}$ ,  $n=21$ ), sendo não significativa na sua ausência ( $r=0,373$  n.s.). Na análise conjunta (sem e com calagem) a correlação também foi altamente significativa ( $r=0,753^{**}$ ,  $n=42$ ). As melhores correlações dos teores de carbono dos solos e de seus potenciais de mineralização de enxofre na presença de calagem devem-se à mineralização do

---

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

\*\* 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.

enxofre orgânico e à dessorção do  $S-SO_4^-$  inorgânico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carbono, enxofre, absorção de enxofre, potenciais de mineralização de enxofre

## INTRODUÇÃO

O estudo do enxofre nativo dos solos potencialmente disponível para as plantas vem ganhando importância mundialmente com o uso continuado de fertilizantes isentos de enxofre e com a incorporação de solos de baixa fertilidade ao processo produtivo agrícola (COLEMAN, 1966; MALAVOLTA, 1980).

O enxofre potencialmente disponível para as plantas é estimado por meio dos teores de enxofre total, matéria orgânica, textura, razão C/S, acidez e manejo do solo (COLEMAN, 1966; BETTANY & STEWART, 1983).

Os teores de enxofre total nos solos variam de 22 a 35.000 ppm. Em condições naturais, os valores mais elevados se encontram em solos pantanosos, com caráter tiomórfico; em regiões industrializadas, com poluição severa, os teores podem superar as 50.000 ppm (BETTANY & STEWART, 1983).

Os teores de nitrogênio e enxofre totais têm pouco valor interpretativo, porém as razões C/N, C/S e N/S dão uma idéia geral da formação do húmus dos solos em determinada região. Confrontando dados de diversas partes do mundo, BETTANY & STEWART (1983) constataram que a razão C/S varia de 60 a 270 e a razão N/S de 4 a 20. Segundo HARWARD *et al.* (1962), quanto maior a acidez, mais larga tende a razão C/S, como nos solos turfosos de regiões frias de altitudes elevadas e de florestas. Com a razão C/S superior a 120, em solos de regiões frias do Rio Grande do Sul, NASCIMENTO & MORELLI (1980 a,b) obtiveram respostas da alfafa para a aplicação de enxofre. Em Minas Gerais, FREIRE *et al.* (1974) verificaram significativa resposta ao enxofre em solo turfoso com 23,8% de matéria orgânica. Isso se deve à imobilização do enxofre na matéria orgânica, que pode ser liberado pela correção da acidez (WILLIAMS, 1967; FONTES, 1979; MARTINI & MUTTERS, 1984).

O enxofre orgânico, na maioria dos solos, representa 90 % do total, por causa das estreitas relações com o C orgânico (FONTES, 1979), N total e S total (BIEDERBECK, 1978). O fracionamento do enxofre orgânico em entidades químicas definidas é problemático do ponto de vista analítico. Os procedimentos disponíveis diferenciam apenas o enxofre ligado ao oxigênio (C-O-SO<sub>3</sub> e C-N-SO<sub>3</sub>) e o ligado diretamente ao carbono (C-S). O enxofre ligado ao oxigênio

é tido como a fração mais lábil nos solos mais férteis. Representa cerca de 33 a 78 % dos solos de regiões temperadas (BETTANY & STEWART, 1983). A fração de enxofre ligada diretamente ao carbono contribui com 5 a 70 % do total e é maior nos solos menos férteis (NEPTUNE *et al.* 1975; MC LAREN *et al.*, 1985). Nas condições brasileiras a fração de S-reduzível em HI varia de 36 a 70 % (NEPTUNE *et al.*, 1975).

A fração orgânica mais promissora como indicadora da disponibilidade de  $S-SO_4^-$  para as plantas parece ser a de S-reduzível em HI. MAYNARD *et al.* (1983) verificaram que a maior parte do  $^{35}S$  incorporada na matéria orgânica foi encontrada nessa fração e também a primeira a ser esgotada via absorção de  $S-SO_4^-$  pelas plantas e/ou imobilizada pela adição de celulose nos solos.

Os potenciais de mineralização de enxofre nativo nos solos foram estudados por STANFORD & SMITH (1972), MAYNARD *et al.* (1983) e JUMA *et al.* (1984). No entanto, esses trabalhos não correlacionaram os potenciais de mineralização de enxofre ( $S_o$ ) com o rendimento das culturas e/ou absorção de enxofre.

O objetivo deste experimento foi o de relacionar os parâmetros carbono, enxofre total, razão C/S e os potenciais de mineralização de enxofre ( $S_o$ ) com a absorção de enxofre pelo milho, na ausência e na presença de calagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

As características físicas e químicas gerais dos solos encontram-se na Tabela 1 e a metodologia utilizada é descrita em KLIEMANN (1987).

Na digestão das amostras de terra utilizou-se, basicamente, a metodologia de CHAPMAN & PRATT (1960), dobrando-se apenas as quantidades de ácido perclórico e nítrico nos solos com alta percentagem de argila, como o LEd (Catalão, GO) e o LVd (Rio Paranaíba, MG). A determinação analítica do enxofre total dos solos foi feita segundo MALAVOLTA (1950), com ligeiras modificações. Após a digestão, filtraram-se as terras em papel-filtro quantitativo, com água desionizada, até recolher 100 ml. Daí, tomaram-se alíquotas de 50 ml, que foram fervidas até a ebulição, precipitando-se, a seguir, os sulfatos com 10 ml de  $BaCl_2$  a 10 %. Ferveram-se novamente as alíquotas por 5 minutos, deixando-as em repouso por uma noite. A seguir, filtraram-se as alíquotas em papel-filtro quantitativo (tipo S & S, faixa azul) com cerca de 250 ml de água deionizada, até o filtrado não mais acusar presença de cloretos. O papel-filtro com o precipitado de  $BaSO_4$  foi secado em

estufa e então incinerado, elevando-se gradativamente a temperatura até 550 °C por 3 horas. Após esfriar, os precipitados foram pesados.

As técnicas de incubação do experimento em casa de vegetação, cultivo dos solos e do experimento em laboratório para avaliação dos potenciais de mineralização de enxofre encontram-se descritos em KLIEMANN (1987).

A relação entre os valores estimados de potenciais de mineralização de enxofre ( $S_o$ ), os teores carbono, enxofre total e a razão C/S *versus* absorção de enxofre pelo milho foi feita por regressão linear simples, computando-se somente os dados dos níveis 0 (ausência) de enxofre, na ausência e presença de calagem, obtidos por KLIEMANN (1987).

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

Solo (local e classificação)	Areia		Silte		Argila		Dg <sup>(2)</sup> g cm <sup>-3</sup>	C.E.	C	N	S	P	K	Ca+Mg mg/100g	pH NC <sup>(3)</sup> em t/ha água
	%	%	%	%	%	ppm									
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	1,658	
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 (corr)	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 (corr)	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 (corr)	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 d (corr)	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.Paraiso1-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.Paraiso2-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, LVd (corr)	22,4	17,4	60,2	1,154	56,4	3,03	0,164	0,0319	2	37	0,28	7,84	5,1	4,340	

(1) Amostras superficiais coletadas de 0 a 20 cm de profundidade.

(2) Densidade global (densidade aparente).

(3) Necessidade de calagem por saturação de bases a 70 %, segundo QUAGGIO (1983).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As determinações analíticas de enxofre total apresentam desvios consideráveis, como se observa na Tabela 2, ao contrário do que ocorre normalmente com o carbono e o nitrogênio total dos solos. O método de digestão nítrico-perclórica de CHAPMAN & PRATT (1961) apresenta sérios problemas para a determinação do S total nos solos, por causa das perdas por volatilização, provenientes das frações inorgânicas e orgânicas de enxofre reduzido. Melhores resultados têm sido obtidos com a adaptação de HESSE (1972). Nesse método, a amostra é refluida com ácido nítrico e os fumos conduzidos através de um condensador para dentro de água bromada. Com adição posterior de água oxigenada, o destilado é retornado ao frasco de digestão, evaporando-o até a secagem total e, então, é determinado o sulfato no resíduo. Na Tabela 2 o coeficiente de variação apresentou uma amplitude de 6 a 16 %. Dentre os métodos citados por HESSE (1972), a fusão com peróxido de sódio e nitrato de magnésio, este preparado com magnésio "Specpure", foi usada por BUTTERS & CHENERY (1959), que obtiveram resultados reproduzíveis de S total nos solos, com coeficiente de variação de 3,1%.

Na Tabela 3 têm-se os coeficientes de correlação linear simples entre carbono, enxofre total, razão C/S e potenciais de mineralização de enxofre. Devido a problemas de repetibilidade de resultados, explica-se a baixa correlação obtida entre o S total dos solos *versus* carbono, tanto na ausência quanto na presença de calagem ( $r=0,234$  ns,  $r=0,137$  ns, respectivamente). Como alternativa, diversos pesquisadores têm associado o teor de enxofre total dos solos ao carbono orgânico, em virtude da sua facilidade de determinação. Nos solos utilizados neste experimento obteve-se correlação linear com baixa significância ( $r=0,657^*$ ). NASCIMENTO & MORELLI (1980a), no entanto, obtiveram correlações altamente significativas entre enxofre total *versus* carbono orgânico ( $r=0,913^*$ ) e enxofre total *versus* enxofre orgânico ( $r=0,970^*$ ), trabalhando com solos do Rio Grande do Sul.

As correlações entre o carbono orgânico e o enxofre total e razão C/S *versus* o enxofre potencialmente mineralizável ( $S_o$ ) são muito baixas. Na Tabela 3 verifica-se que a correlação entre o carbono e o enxofre potencialmente mineralizável, na presença de calagem, apresenta significância a 5% de probabilidade ( $r=0,768^*$ ). A razão C/S dos solos deste experimento apresentou correlação positiva com a absorção de enxofre, embora significativa apenas na

presença de calagem ( $r=0,514^*$ ), o que contraria dados de literatura. NASCIMENTO & MORELLI (1980b) obtiveram correlação negativa da produção relativa de alfafa com a relação C/S ( $r=-0,849^{**}$ ). Essa discrepância pode ter explicação nas mais variadas razões C/S dos solos, pois em alguns trabalhos de revisão de literatura foram tidas como constantes, com valores ao redor de 100/1. Todavia, segundo BETTANY & STEWART (1983), a razão C/S varia de 60 a 150/1, podendo, em casos extremos, alcançar valores superiores a 300/1, como em solos de florestas e turfas de regiões frias.

Tabela 2 - Teores de enxofre, potenciais de mineralização de enxofre (S<sub>0</sub>), decaimento do carbono nos solos por efeito de dois cultivos, matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre (nível zero de S), na ausência e presença de calagem (média de 3 repetições).

Solos	Teores de S total			S <sub>0</sub> -SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ppm	Teores de carbono				Matéria seca (g/vaso)			Absorção de S (mg/vaso)	
	C <sup>1</sup>	Média	D.P.		C.V.	A <sup>(2)</sup>	B	C	D	C <sup>(3)</sup>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>
Anhembi	sc	0,01134	0,00177	15,6	-	0,99	0,85	0,75	0,60	28,50	16,38	39,3	16,1
	cc	-	-	-	-	-	0,68	0,76	0,62	48,68	22,81	73,0	19,4
São Pedro	sc	0,01410	0,00146	10,3	36,86	0,85	0,77	0,59	0,55	21,91	16,50	46,6	16,6
	cc	-	-	-	41,61	-	0,73	0,62	0,51	30,30	23,81	45,3	14,3
Assis	sc	0,01410	0,00146	10,0	36,32	0,50	0,37	0,33	0,29	25,07	13,20	20,0	22,4
	cc	-	-	-	38,06	-	0,35	0,29	0,22	28,11	11,44	7,9	5,6
Pirassumunga-1	sc	0,01136	0,00029	2,5	28,91	1,10	0,99	0,91	0,88	23,44	9,96	18,7	5,9
	cc	-	-	-	44,66	-	0,95	0,82	0,73	34,58	11,61	31,1	7,0
Pirassumunga-2	sc	0,02230	0,00115	6,9	-	0,79	0,84	0,76	0,76	23,44	9,96	18,7	5,9
	cc	-	-	-	-	-	0,84	0,76	0,76	24,76	11,08	31,1	7,0
Matão	sc	0,02439	0,00137	5,6	38,90	1,51	1,43	1,29	1,29	41,73	19,20	58,4	13,4
	cc	-	-	-	33,49	-	1,39	1,21	1,21	41,65	13,99	66,6	8,4
Botucatu-1	sc	0,01937	0,00320	16,5	-	1,18	0,80	0,78	0,65	33,97	33,90	61,1	61,0
	cc	-	-	-	-	-	0,80	0,76	0,69	43,37	28,58	47,7	34,3

Continua...



Continuação...

Sotos (locais)	Teores de S total %			S <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ppm	Teores de carbono %				Matéria seca (g/vaso)			Absorção de S (mg/vaso)			
	C <sub>1</sub>	Média	D.P.		C.V.	A <sup>(2)</sup>	B	C	D	C <sub>1</sub> <sup>(3)</sup>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Botucatu-2	sc	0,03073	0,00184	6,0	-	1,87	1,68	1,60	1,60	35,47	30,21	49,6	45,3		
	cc	-	-	-	-	-	1,60	1,57	1,43	42,67	42,77	59,7	47,0		
Catalão	sc	0,02596	0,00208	8,0	31,73	2,48	2,31	2,23	2,24	40,90	28,27	94,1	22,6		
	cc	-	-	-	48,21	-	2,28	2,28	2,13	55,07	66,95	143,5	66,9		
S.S.Paraiso-1	sc	0,00782	0,00109	13,9	-	1,90	1,87	1,72	1,60	36,04	16,47	61,3	83,0		
	cc	-	-	-	-	-	1,52	1,49	1,37	39,54	19,27	11,5	13,5		
S.S.Paraiso-2	sc	0,01369	0,00187	13,6	35,40	1,61	1,41	1,34	1,32	23,40	17,86	53,8	10,7		
	cc	-	-	-	48,60	-	1,34	1,26	1,22	34,24	38,75	68,5	34,9		
Rio Paranaíba	sc	0,03193	0,00285	8,9	27,38	3,03	2,75	2,56	2,50	18,07	16,46	27,1	84,3		
	cc	-	-	-	59,28	-	2,53	2,38	2,37	42,15	28,76	9,9	23,0		

(1) Ausência (sc) ou presença (cc) de calagem, conforme recomendações

(2) Amostras de terra analisadas antes do experimento (A), após a incubação (B), após o primeiro (C) e após o segundo cultivo (D).

(3) C<sub>1</sub> - primeiro cultivo; C<sub>2</sub> - segundo cultivo.

Tabela 3 - Matriz de correlação linear simples dos parâmetros entre si e entre a absorção de enxofre pelo milho.

Parâmetros dos solos	C <sup>(1)</sup>	Absorção de enxofre			Parâmetros dos solos			
		C <sub>1</sub> <sup>(2)</sup>	C <sub>2</sub>	Conjunta	% C	% S	C/S	S <sub>o</sub>
		n=36 <sup>(4)</sup>		n=72 <sup>(4)</sup>	n=12 <sup>(4)</sup>			n=7 <sup>(4)</sup>
% Carbono	sc	0,441	0,134	0,352	-	-	-	0,510
	cc	0,754	0,457	0,610	-	-	-	0,768
% S total	sc	0,234	-	-	0,6751	-	-	0,667
	cc	0,137	-	-	-	-	-	0,540
C/S	sc	0,313	-	-	-	-	-	-
	cc	0,514	-	-	-	-	-	-
S <sub>o</sub> <sup>(2)</sup>	sc	0,271*	-	-	-	-	-	-
	cc	0,401**	-	-	-	-	-	-
	sc+cc	0,468**	-	-	-	-	-	-
S <sub>o</sub> <sup>(3)</sup>	sc	0,373*	-	-	-	-	-	-
	cc	0,797*	-	-	-	-	-	-
	sc+cc	0,735*	-	-	-	-	-	-

(1) Ausência (SC) e presença (CC) de calagem, conforme recomendações.

(2) Absorção de enxofre em valores absolutos *versus* potencial de mineralização de enxofre (S<sub>o</sub>) de solos não cultivados.

(3) Absorção de enxofre em valores relativos [(S/S<sub>20</sub>)x100] *versus* potencial de mineralização de enxofre (S<sub>o</sub>) de solos não cultivados.

(4) n = número de observações.

\* Análise individual, ausência ou presença de calagem, com 21 observações.

\*\* Análise conjunta, ausência + presença de calagem, com 42 observações.

(5) C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> = primeiro e segundo cultivos, respectivamente.

Os solos utilizados neste experimento possuem relações bem mais baixas, variando de 33 a 122/1, que se aproximam dos valores encontrados por Mohr (1948), citado por MALAVOLTA (1950), em alguns solos do Rio Grande do Sul.

Os solos utilizados no experimento variam significativamente em suas características gerais, tais como: os teores de argila (8,1 a 60,2 %), carbono (0,50 a 3,03 %), pH e saturação de bases. Isso acarreta a necessidade de calagem variando de 0,374 a 4,400 t/ha.

O decréscimo nos teores de carbono já se tornou evidente após a

incubação em todos os solos, mesmo sem terem sido cultivados. Nos solos de textura arenosa, a calagem praticamente não teve influência na oxidação da matéria orgânica. Nos solos de textura mais argilosa, no entanto, a calagem aumentou a oxidação da matéria orgânica. BRAR & GIDDENS (1968) consideram que a acidez e, principalmente, o alumínio trocável inibem a mineralização da matéria orgânica. Esse fato já foi observado por BOHNEN (1970) e KLIEMANN (1973) em solos do Rio Grande do Sul, em que a calagem aumentou significativamente a absorção de nitrogênio nativo. KLIEMANN (1987) verificou que a calagem modifica os potenciais de mineralização de nitrogênio e enxofre.

Nas condições deste experimento, o carbono orgânico dos solos revelou-se um bom indicador da capacidade de fornecimento de enxofre às plantas. Na figura 1 constam as equações de regressão da absorção de enxofre *versus* o carbono dos solos. Com a exclusão do solo do Rio Paranaíba obtiveram-se coeficientes de correlação mais elevados do que com a inclusão de todos os solos. As relações mais estreitas foram obtidas na presença de calagem e no primeiro cultivo. O contrário se verifica na ausência de calagem, o que demonstra que menores quantidades de enxofre são absorvidas em consequência da imobilização (por via biológica) e da adsorção de  $S-SO_4^-$  aos sítios de troca. Assim, os efeitos da calagem na disponibilidade do enxofre traduzem-se na mineralização de matéria orgânica (WILLIAMS & STEINBERGS, 1967) e dessorção do  $S-SO_4^-$  dos sítios de troca aniônica (PROBERT, 1976; COUTO *et al.*, 1979). Dados de resposta à adubação sulfatada de KLIEMANN (1987) mostram, por meio das interações entre calagem e cultivos, que o processo de esgotamento do enxofre nativo dos solos é acelerado com a prática da calagem.

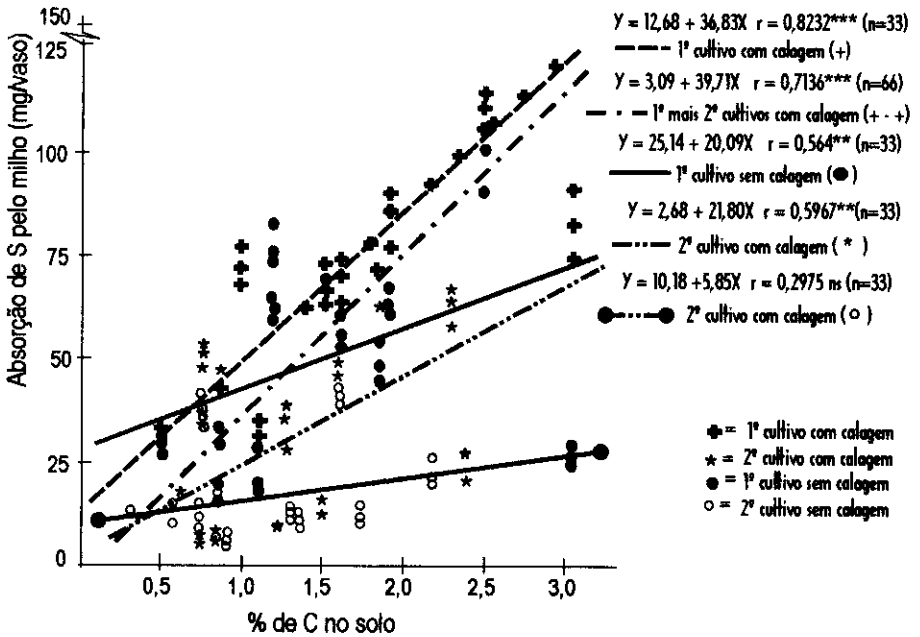


Figura 1 - Absorção de enxofre (mg/vaso) pelo milho *versus* a porcentagem de carbono nos solos submetidos a dois cultivos (sem e com calagem)

Na Tabela 3 vê-se que a absorção de enxofre (em valores absolutos) *versus* potenciais de mineralização de enxofre nativo dos solos apresenta coeficientes de correlação linear mais baixos do que quando esta relação foi calculada com os valores de absorção relativos ( $S/S_{20}$ ) $\times 100$ , onde S significa ausência e  $S_{20}$  a dose de 20 ppm de S. Utilizando-se os valores absolutos de absorção de enxofre, verificou-se significância estatística a 5% na análise conjunta dos tratamentos com ausência e presença de calagem ( $r=0,468^{**}$ ).

Pela Figura 2 observa-se que os potenciais de mineralização, estimados por KLIEMANN (1987), são estreitamente correlacionados com a absorção relativa de enxofre pelo milho na presença de calagem ( $r=0,797^{**}$ ). Na ausência de calagem houve pequena absorção de enxofre, concomitantemente com a baixa mineralização de enxofre nos solos usados no experimento de incubação (KLIEMANN, 1987). A baixa correlação obtida na ausência de calagem

( $r=0,373$  ns) deve-se à diferente reação dos solos que, em parte, pode ser responsabilizada pela dispersão dos pontos no gráfico, principalmente aqueles circunscritos e indicados por uma seta, referentes ao solo de Catalão. Esses "outliers" da equação de regressão sugerem que grande parte do enxofre tornado disponível pela calagem (pelo menos no solo em questão) provém da dessorção de  $S-SO_4^-$  de sítios de troca aniônica, o que, entretanto, somente poderá ser confirmado através de experimentos de adsorção e dessorção de  $S-SO_4^-$  na ausência e presença de calagem.

O relacionamento dos potenciais de mineralização *versus* absorção de enxofre mostram que, em experimentos futuros, será necessário trabalhar com um número maior de solos e com uma faixa mais ampla de matéria orgânica, a fim de promover o agrupamento dos solos com comportamento similar e testar outros modelos matemáticos.

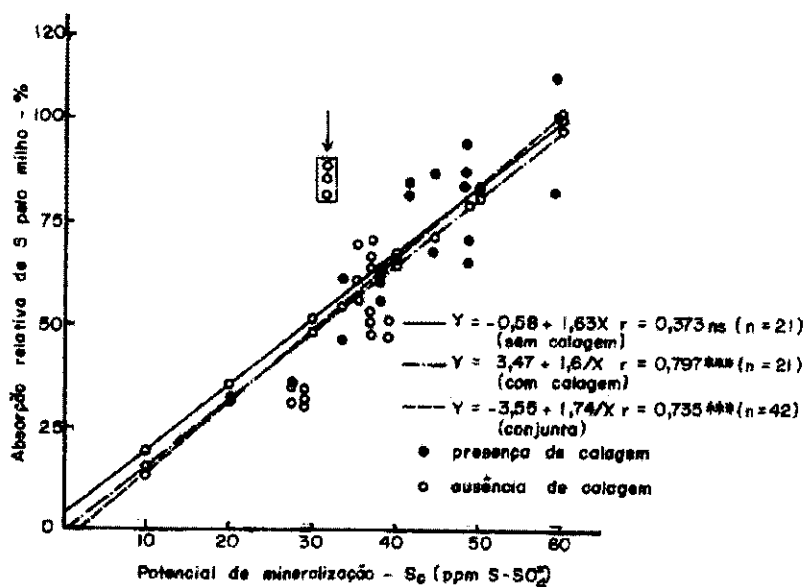


Figura 2 - Potenciais de mineralização de enxofre ( $S_o$ ), estimado por equação hiperbólica (STANFORD & SMITH, 1972) *versus* absorção relativa de enxofre na ausência e presença de calagem.

## CONCLUSÕES

O enxofre total dos solos não se correlacionou significativamente com a absorção de enxofre pelo milho. Como uma das causas aponta-se a baixa repetibilidade dos resultados analíticos do enxofre total. A percentagem de carbono dos solos correlacionou-se significativamente com a absorção de enxofre pelo milho na presença de calagem, sendo mais baixa na sua ausência.

Os potenciais de mineralização de enxofre (obtidos por incubação aberta dos solos) correlacionaram-se significativamente com a absorção de enxofre na presença de calagem, sendo não significativa na sua ausência. Na análise conjunta (sem e com calagem), a correlação também foi altamente significativa.

As melhores correlações dos teores de carbono dos solos e de seus potenciais de mineralização de enxofre na presença de calagem devem-se à mineralização do enxofre orgânico e à dessorção do  $S-SO_4^-$  inorgânico.

## ABSTRACT

Sulphur availability in brazilian soils. IV. Evaluation of native sulphur supplying power to plants

An open incubation experiment was carried out in laboratory conditons using columns containing 50 g of soil from seven soils of the States of São Paulo, Minas Gerais and Goiás (Brazil), in presence and absence of liming. Soil columns were leached with KCl 0.01 M every other week during 14 weeks. A second greenhouse experiment was carried out with twelve soils from the same States. 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. Total sulphur and carbon contents and sulphur mineralization potentials of the soils were correlated with sulphur absorption by corn plants. Total sulphur contents of soils showed no significant correlation with sulphur uptake ( $r=0.234$  n.s.). Carbon content was significantly correlated with sulphur uptake in presence of liming ( $r=0.754^{**}$ ,  $n=36$ ), being lower in its absence ( $r=0.457^*$ ,  $n=36$ ). Sulphur mineralization potentials of soils were significantly correlated with sulphur uptake by corn in presence of liming ( $r=0.797^{**}$ ,  $n=21$ ), with no significance in its absence ( $r=0.373$  n.s.). In joint analysis (no liming and liming) there was also a highly significant correlation ( $r=0.753^{**}$ ,  $n=42$ ). The best correlations of carbon contents and

sulphur mineralization potentials of the soils with sulphur uptake in presence of liming can be accounted for by organic sulphur mineralization and inorganic  $S-SO_4^-$  desorption.

KEY WORDS: Carbon, sulphur, sulphur uptake, sulphur mineralization potentials.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B. Sulphur cycling in solis. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE TÉCNICAS NUCLEARES EM ESTUDOS DE FERTILIDADE DO SOLO E FERTILIZANTES. *Anais...*, 1983, Piracicaba, CENA/SP.
- BIEDERBECK, V.O. Soil organic sulfur and fertility. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S.V., (ed.) *Soil organic matter*. Amsterdam: Elsevier, 1978, p.273-310.
- BOHNEN, H. Formas de nitrogênio e avaliação de métodos para a determinação de sua disponibilidade em 21 solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 1970. Dissertação (Mestrado-Faculdade de Agronomia)-UFRGS.
- BRAR, S.S.; GIDDENS, J. Inhibition of nitrification in Bladengrassland soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, v.32, n.6, 1968, p.821-823.
- BUTTERS, B.; CHENERY, E.M. A rapid method for the determination of total sulphur in soils and plants. *Analyst*, London, v.84, 1959, p.239-45.
- CHAPMAN, H.; PRATT, F.P. *Methods of analysis for soils, plants and waters*. Davis: Univers. California, 1961. 309 p.
- COLEMAN, R. The importance of sulfur as plant nutrient in world crop production. *Soil Sci.*, Baltimore, v.101, n.4, 1966, p.230-9.
- COUTO, W.; LATHWELL, D.J.; BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two oxisols and alfisols of the tropics. *Soil Sci.*, Baltimore, v.127, n.1, 1979, p.108-16.
- FONTES, M.P.F. Disponibilidade de enxofre em diferentes extratores químicos em alguns solos do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1979. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Viçosa). 63p.
- FREIRE, J.C.; MATTOS, R.; SOUZA, J.J.; BAHIA, F.G.F.F.C. Resposta a níveis de enxofre em solos de baixada, Vale do Sapucaí, Minas Gerais. *Agros*, Lavras, v.4, n.1, 1974, p.39-44.
- HARWARD, M.E.; CHAO, T.T.; FANG, S.C. The sulphur status and sulphur supplying power of Oregon soils. *Agron. J.*, Madison, v.54, n.1, 1962, p.101-6.
- HESSE, P.R. Sulphur. In: *A textbook of soil chemical analysis*. London: John Murray. cap.13, 1962, p.301-31.
- JUMA, N.G; PAUL, E.A.; MARY, B. Kinetic analysis of net nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.48, n.4, 1984, p.753-7.

- KLIEMANN, H.J. Componentes nitrogenados de alguns solos do Rio Grande do Sul e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Porto Alegre, RS, 1973. Dissertação (Mestrado - Faculdade de Agronomia-UFRGS). 73p.
- KLIEMANN, H.J. Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros. Piracicaba, SP, 1987. Tese(Doutorado- ESALQ/USP). 231p.
- MALAVOLTA, E. Estudos sobre o enxofre. Piracicaba, SP, 1950. Tese (Livro Docência-ESALQ/USP). 93p.
- MALAVOLTA, E. *Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras*. Piracicaba, POTAFOS, 1980. (Boletim, 4).
- MARTINI, J.A.; MUTTERS, R.G. Effect of liming and fertilization on sulfur availability, mobility and uptake in cultivated soils of South Carolina. *Soil Sci.*, Baltimore, v.138, n.6, 1984, p.403- 10.
- MAYNARD, D.G.; STEWART, J.W.B.; BETTANY, J.R. 1983. Sulphur and nitrogen mineralization in soils compared using two incubation techniques. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v.15, n.3, 1984, p.252-6.
- Mc LAREN, A.; KEER, J.I.; SWIFT, R.S. Sulphur transformations in soils using sulphur-35 labelling. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, v.17, n.1, 1985, p.73-9.
- NASCIMENTO, J.A.L.do; MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I. Formas no solo. *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.135-8.
- NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A. HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.39, n.1, 1975, p.51-5.
- PROBERT, M.E.; JONES, R.K. The use of soils analysis for predicting the response to sulphur of pasture, in the Australian tropics. *Aust. J. Agr. Res.*, Melbourne, v.28, n.1., 1976, p.137-146.
- QUAGGIO, J.A. Métodos para determinação da necessidade de calagem em solos. In: RAIJ, B. VAN, (coord.). *Acidez e calagem no Brasil*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1983, p.33-48.
- STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.36, n.3, 1972, p.465-72.
- 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.
- WILLIAMS, C.H.; STEINBERGS, A. The evaluation of plant sulphur in soils. II. The availability of adsorbed and insoluble sulphates. *Plant & Soil*, The Hague, v.21, n.1, 1964, p.50-62.