

# DISPONIBILIDADE DE ENXOFRE EM SOLOS BRASILEIROS. V. AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE ENXOFRE NAS PLANTAS\*.

*Huberto José Kliemann\*\*  
Euripedes 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 0,50 e 3,03%, de enxofre total entre 0,0104 e 0,0319% e de argila entre 8 e 60%. Os solos foram submetidos a dois cultivos sucessivos com milho (*Zea mays* L.) com 3 doses de gesso (0, 20 e 40 ppm de S), previamente incubados na ausência e presença de calagem. Para a avaliação do estado nutricional de enxofre correlacionaram-se o enxofre total e as razões N/S e P/S da parte aérea do milho com a produção de matéria seca e absorção de enxofre. Os níveis críticos de enxofre total na parte aérea do milho com a produção de matéria seca e absorção de enxofre foram de 0,14% e 0,20%, respectivamente, no primeiro cultivo dos solos arenosos; no segundo cultivo, determinou-se o nível crítico de 0,14% para ambos os casos. No cultivo dos solos argilosos, com teores de carbono superiores a 1,2%, foi possível estabelecer níveis críticos de enxofre total de 0,20% para a produção de matéria seca, de 0,30% para a absorção de enxofre apenas no segundo cultivo. A razão N/S da parte aérea do milho, que caracteriza a deficiência de enxofre total, esteve ao redor de 10 a 12, correlacionando-se significativamente com a absorção de enxofre nos dois cultivos dos solos. Pela análise conjunta dos dados dos dois cultivos, bem como do segundo, encontraram-se estreitas relações entre a absorção de S e a razão P/S, sugerindo-se o valor crítico de 1/1. A razão N/S

---

\* 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.

revelou-se, dentre os parâmetros estudados, como o mais preciso para diagnosticar a deficiência de enxofre em plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Enxofre em plantas, nível crítico, relação N/S, relação P/S.

## INTRODUÇÃO

Na avaliação do estado nutricional das culturas com respeito ao enxofre, faz-se, geralmente, a determinação do teor total do elemento em extratos nítrico-perclóricos (BLAIR, 1979).

Para as gramíneas o nível crítico de S total está ao redor de 0,15%. Para o sorgo, FONTES (1979) e para o capim colômbio, MALAVOLTA *et al.* (1984a) observaram, respectivamente, os níveis críticos de 0,16 e 0,15%, usando a digestão nítrico-perclórica. Para culturas mais exigentes como a colza, o nível crítico está por volta de 0,6 a 0,7% (MALAVOLTA *et al.*, 1984b; JANZEN & BETTANY, 1984).

Outros indicadores além do S-total, como a percentagem de S-reduzível em HI e as razões N/S e S-reduzível em HI/S-total foram pesquisados como indicadores do estado nutricional de enxofre nas plantas (MAYNARD *et al.*, 1983).

Os teores de S-total nas plantas são significativamente afetados por variações estacionais, estágios de desenvolvimento e interações com outros nutrientes. A razão S-reduzível em HI/S-total é um índice não afetado pelos teores de outros nutrientes, particularmente o nitrogênio (GOH & KEE, 1978; MAYNARD *et al.*, 1983). Há, no entanto, variações entre espécies: FRENEY *et al.* (1978) encontraram razões de S-reduzível em HI/S total variando de 0,26 a 0,30 para o trigo, enquanto que, para a colza, MAYNARD *et al.* (1983) encontraram razões de 0,48 a 0,56.

A razão N/S também é usada como meio de diagnose. DIJKSHOORN & VAN VIJK (1976), em revisão compreensiva de literatura, encontraram razões N/S ao redor de 14:1 para leguminosas, até 17:1 para gramíneas. Entretanto, para uma cultura exigente como a colza, JANZEN & BETTANY (1984) encontraram a razão N/S igual a 7, como a mais adequada. MALAVOLTA *et al.* (1984b) caracterizaram a deficiência de enxofre na colza com a razão N/S acima

de 8 na lâmina foliar. Para o capim colônião, MALAVOLTA *et al.* (1984a) estabeleceram a deficiência de S com razão N/S maior que 20.

A razão P/S no tecido foliar, embora pouco estudada, também foi sugerida como indicadora do estado nutricional de enxofre nas plantas. De acordo com MALAVOLTA *et al.* (1984a) a razão P/S maior do que 2 caracteriza a deficiência de S no capim colônião. Em outro experimento, MALAVOLTA *et al.* (1984b), considerando apenas a lâmina foliar da colza, julgaram a razão P/S igual a 1 como adequada nos tratamentos com enxofre.

O objetivo deste experimento é avaliar o estado nutricional de enxofre em alguns solos dos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás, por meio da correlação dos teores de enxofre total na planta e razões N/S e P/S com a produção de matéria seca e absorção de enxofre pela parte aérea do milho em condições de casa de vegetação.

## MATERIAL E MÉTODOS

As características dos solos utilizados no experimento encontram-se na Tabela 1, e as técnicas de cultivo em casa de vegetação estão discriminadas em KLIEMANN (1987).

As digestões sulfúrica (N-total) e nítrico-perclórica e as determinações analíticas de N e P foram feitas pelos procedimentos descritos por SARRUGE & HAAG (1974). A determinação analítica do S-total no extrato nítrico-perclórico foi feita segundo VITTI & RODELLA (1982).

As análises de correlação e regressão foram feitas agrupando-se os solos pelos seus teores de carbono, isto é, menores e maiores que 1,2%, entre os teores de S total e razões N/S e P/S da parte aérea do milho *versus* produção de matéria seca e absorção de enxofre. Para o S total usou-se a regressão polinomial de primeiro e segundo grau e para as razões N/S e P/S, a exponencial ( $Y = a.e^{bx}$ ).

**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>		C.E.	C	N	S	P	K	Ca+Mg	H+Al	pH em água	NC <sup>(3)</sup> /ha
	%	g.cm <sup>-3</sup>	%	g.cm <sup>-3</sup>	%	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 (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		
Matião-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, LEa(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.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(cerr)	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

Na Tabela 2 observam-se os teores de N, P e S totais na parte aérea do milho. O nitrogênio total tende a ser mais alto na ausência de calagem e de gesso, se comparado com a sua presença. Ao longo dos dois cultivos, com fornecimento abundante de nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes na base e coberturas de nitrogênio e potássio, observaram-se deficiências visuais progressivas de enxofre, o que se refletiu nos teores mais elevados de nitrogênio e fósforo nas plantas. A deficiência de enxofre mostrou-se particularmente severa no nível zero de enxofre. A partir do primeiro cultivo já se detectaram deficiências nos solos arenosos, como o de Assis, Pirassununga-1 e Pirassununga-2, deficiências estas que se estenderam aos outros solos, no nível de 20 ppm de S. No solo Botucatu-1 (Latossolo arenoso) e Botucatu-2 (latossolo roxo argiloso) a deficiência de enxofre no milho mostrou-se menos severa, mesmo na dose zero de gesso no segundo cultivo.

**Tabela 2- Teores totais de nitrogênio, fósforo e enxofre na parte aérea do milho em função da calagem e da gessagem em dois cultivos sucessivos.**

Solo (local)	Níveis de S ppm	C <sup>10</sup>	Primeiro cultivo						Segundo cultivo											
			0			40			0			20			40					
			N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S			
Anhembi	sc		3,13	0,56	0,14	2,48	0,47	0,13	2,98	0,52	0,16	2,08	0,53	0,07	1,40	0,46	0,12	1,38	0,45	0,12
	cc		1,70	0,51	0,15	1,87	0,55	0,19	1,56	0,62	0,16	1,85	0,48	0,06	1,21	0,35	0,09	1,14	0,35	0,10
São Pedro	sc		3,16	0,65	0,14	3,42	0,64	0,21	3,26	0,64	0,20	3,88	0,63	6,68	2,52	0,59	0,08	2,00	0,63	0,10
	cc		2,95	0,64	0,15	2,97	0,68	0,18	2,97	0,60	0,16	2,39	0,58	0,06	2,88	0,51	0,09	1,74	0,55	0,10
Assis	sc		2,02	0,53	0,08	2,09	0,44	0,12	2,11	0,52	0,15	3,57	0,57	0,06	2,22	0,51	0,08	2,73	0,51	0,09
	cc		2,31	0,59	0,08	2,60	0,42	0,10	1,83	0,44	0,15	4,20	0,61	0,05	3,28	0,53	0,06	2,92	0,54	0,08
Pirassununga-1	sc		2,90	0,28	0,08	2,73	0,22	0,16	3,26	0,22	0,17	3,79	0,50	0,06	1,91	0,24	0,09	1,83	0,28	0,12
	cc		2,62	0,28	0,09	2,48	0,21	0,12	2,41	0,21	0,15	3,51	0,53	0,06	1,86	0,39	0,08	1,70	0,34	0,11
Pirassununga-2	sc		2,85	0,24	0,07	3,32	0,20	0,16	3,40	0,24	0,20	3,06	0,53	0,06	1,87	0,31	0,09	2,17	0,32	0,15
	cc		2,44	0,25	0,12	3,08	0,29	0,15	2,73	0,37	0,18	3,50	0,48	0,07	1,65	0,30	0,08	1,82	0,29	0,14
Botucatu-1	sc		3,04	0,46	0,18	3,54	0,52	0,23	3,38	0,42	0,19	2,07	0,42	0,11	1,84	0,40	0,13	1,79	0,36	0,12
	cc		3,38	0,47	0,18	2,67	0,41	0,18	2,78	0,31	0,15	2,69	0,35	0,12	1,74	0,32	0,14	1,93	0,33	0,13
Botucatu-2	sc		2,45	0,23	0,14	2,34	0,22	0,16	2,43	0,21	0,15	2,10	0,26	0,14	2,17	0,25	0,14	2,40	0,27	0,14
	cc		2,62	0,25	0,15	2,45	0,32	0,19	2,34	0,30	0,27	1,87	0,27	0,11	1,77	0,27	0,15	1,74	0,26	0,13

Continua..

Continuação

Solo (local)	Níveis de S ppm C <sup>(1)</sup>	Primeiro cultivo						Segundo cultivo											
		0		20		40		0		20		40							
		N	P	S	N	P	S	N	P	S	N	P	S						
Matão	sc	2,40	0,66	0,14	1,86	0,54	0,25	1,83	0,46	0,22	2,97	0,49	0,07	1,74	0,30	0,08	1,48	0,29	0,10
	cc	2,08	0,61	0,16	1,81	0,57	0,24	2,33	0,62	0,26	2,91	0,53	0,06	1,73	0,34	0,08	1,48	0,29	0,10
Catalão	sc	2,40	0,32	0,23	2,50	0,39	0,25	2,44	0,33	0,34	2,17	0,33	0,08	2,45	0,23	0,11	1,67	0,24	0,12
	cc	2,24	0,40	0,26	2,18	0,38	0,30	2,55	0,37	0,30	1,43	0,29	0,10	1,57	0,28	0,12	1,70	0,33	0,12
S.S.Paraiso-1	sc	2,35	0,44	0,17	2,51	0,43	0,27	2,62	0,50	0,30	3,25	0,47	0,07	1,90	0,26	0,08	1,53	0,21	0,13
	cc	2,53	0,54	0,21	2,57	0,45	0,32	2,47	0,43	0,30	2,74	0,44	0,07	1,66	0,28	0,10	1,62	0,23	0,11
S.S.Paraiso-2	sc	2,65	0,29	0,23	2,39	0,22	0,25	2,52	0,21	0,23	2,60	0,48	0,06	1,54	0,24	0,10	1,67	0,22	0,15
	cc	2,49	0,24	0,20	2,36	0,24	0,23	2,42	0,28	0,20	2,04	0,44	0,09	1,59	0,28	0,14	1,67	0,24	0,14
Rio Paranaíba	sc	2,82	0,29	0,15	2,73	0,27	0,19	2,49	0,26	0,27	2,98	0,30	0,06	2,23	0,15	0,07	1,37	0,15	0,12
	cc	2,23	0,35	0,20	2,16	0,30	0,22	2,29	0,24	0,23	2,54	0,29	0,08	1,47	0,17	0,10	1,61	0,16	0,12

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

Os teores de fósforo total na parte aérea do milho refletem as altas quantidades de fósforo fornecidas, principalmente nos solos com textura mais arenosa e na dose zero de gesso. Essas altas quantidades de fósforo contribuíram para acentuar o desequilíbrio entre os dois nutrientes, como será demonstrado pela razão P/S *versus* a absorção de enxofre. Nos solos mais argilosos a razão P/S tende a ser mais equilibrada, provavelmente por causa do poder de fixação de fósforo (ALMEIDA NETO & BRASIL SOBRINHO 1977) e do maior potencial de fornecimento de enxofre (KLIEMANN, 1987) dos solos, mesmo com altas adubações fosfatadas e nitrogenadas.

Na Tabela 3 estão listados os coeficientes de determinação ( $r^2$  e  $R^2$ ) da produção de matéria seca e absorção de enxofre *versus* percentagem de S total e razões N/S e P/S. Nota-se que os coeficientes de determinação da produção de matéria seca são mais baixos do que os de absorção de enxofre. Dados de Mc CLUNG *et al.* (1959) demonstraram que o volume total de solos explorados restringe a expansão do sistema radicular, com produção de matéria seca conseqüentemente menor, porém, sem maiores efeitos na absorção de enxofre pelo milheto. Em trabalhos de correlação sobre disponibilidade de nitrogênio, GASSER (1963) também verificou essas mesmas restrições para os experimentos de casa de vegetação, se comparados com experimentos de campo.

Tabela 3. Coeficientes de determinação ( $r^2$  e  $R^2$ ) da produção de matéria seca da parte aérea do milho e absorção de enxofre *versus* percentagem de enxofre total e razões N/S e P/S, em dois cultivos sucessivos.

Variável independente	Produção de matéria seca			Absorção de enxofre		
	C <sub>1</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	Conjunta	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Conjunta
Observações	n = 108 <sup>(2)</sup>		n = 216 <sup>(2)</sup>	n=108		n=216
Enxofre total <sup>(3)</sup>						
Solos C < 1,2 %	0,0903	0,4119	0,2963	0,4768	0,6931	0,6831
C > 1,2 %	0,0059	0,0979	0,0208	0,1252	0,1953	0,0224
Razão N/S <sup>(4)</sup>						
Solos C < 1,2 %	0,1850	0,5812	0,5163	0,7655	0,7396	0,7533
C > 1,2 %	0,2807	0,7094	0,4883	0,7652	0,8716	0,6807

Continua...



## Continuação

Variável independente	Produção de matéria seca			Absorção de enxofre		
	C <sub>1</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	Conjunta	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Conjunta
Observações	n = 108 <sup>(2)</sup>		n = 216 <sup>(2)</sup>	n=108		n=216
Razão P/S <sup>(4)</sup>						
Solos C < 1,2 %	0,0132	0,4739	0,3029	0,1130	0,7119	0,6400
C > 1,2 %	0,0084	0,5606	0,3246	0,0510	0,7156	0,6328

(1) C1 e C2 - primeiro e segundo cultivos, respectivamente.

(2) Número de observações. Os níveis de significância a 5 e 10 % de probabilidade de R na equação polinomial de 2o. grau: R > 0,212 para n = 216 e R > 0,297 para n=108; e r na equação exponencial com r > 0,181 para n=216 e r > 0,251 para n=108.

(3) Para o enxofre total usou-se o modelo polinomial de segundo grau.

(4) Para as razões N/S e P/S usou-se o modelo exponencial ( $Y = a.e^{bx}$ ).

Para se estabelecer as relações de produção de matéria seca e absorção de enxofre pelo milho *versus* enxofre total nas plantas usou-se o modelo polinomial de segundo grau, discriminando pelos teores de carbono. Observa-se pelas Figuras 1. e 2. que somente foi possível determinar o nível crítico de enxofre total (0,14%) *versus* produção de matéria seca nos solos arenosos no primeiro cultivo, o que concorda com o valor de 0,16% encontrado por FONTES (1979) para o sorgo granífero. Com relação à absorção de enxofre *versus* enxofre total, o nível crítico foi de 0,20%. A regressão obtida para solos mais argilosos (carbono > 1,2%) no primeiro cultivo não permitiu estabelecer os níveis críticos de enxofre total nas plantas de milho. No segundo cultivo encontrou-se o mesmo nível crítico de 0,14% para a produção de matéria seca e absorção de enxofre nos solos arenosos; nos solos argilosos o esgotamento do enxofre nativo e altas doses de adubação nitrogenada e fosfatada ensejaram níveis críticos mais elevados de enxofre total, a saber, 0,20 e 0,30% para a matéria seca e absorção de enxofre, respectivamente. Essas diferenças podem ser atribuídas aos potenciais de mineralização mais elevados de solos mais argilosos e com maiores teores de carbono (KLIEMANN, 1987). Pelo exposto, não se pode tomar o nível crítico como um valor estático, pois ele pode variar em função do enxofre disponível no solo ou adicionado pela adubação, da reação do solo e do estágio de desenvolvimento das plantas.

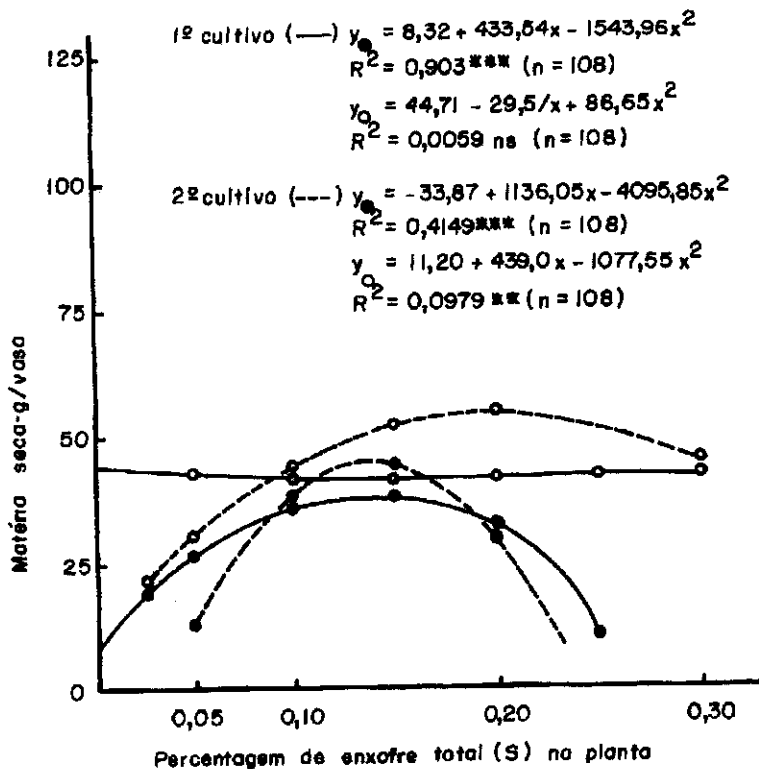


Figura 1 - Produção de matéria seca de milho *versus* teores de S total nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono (O = carbono < 1,2% e C = carbono > 1,2%) e em dois cultivos (primeiro cultivo e segundo cultivo).

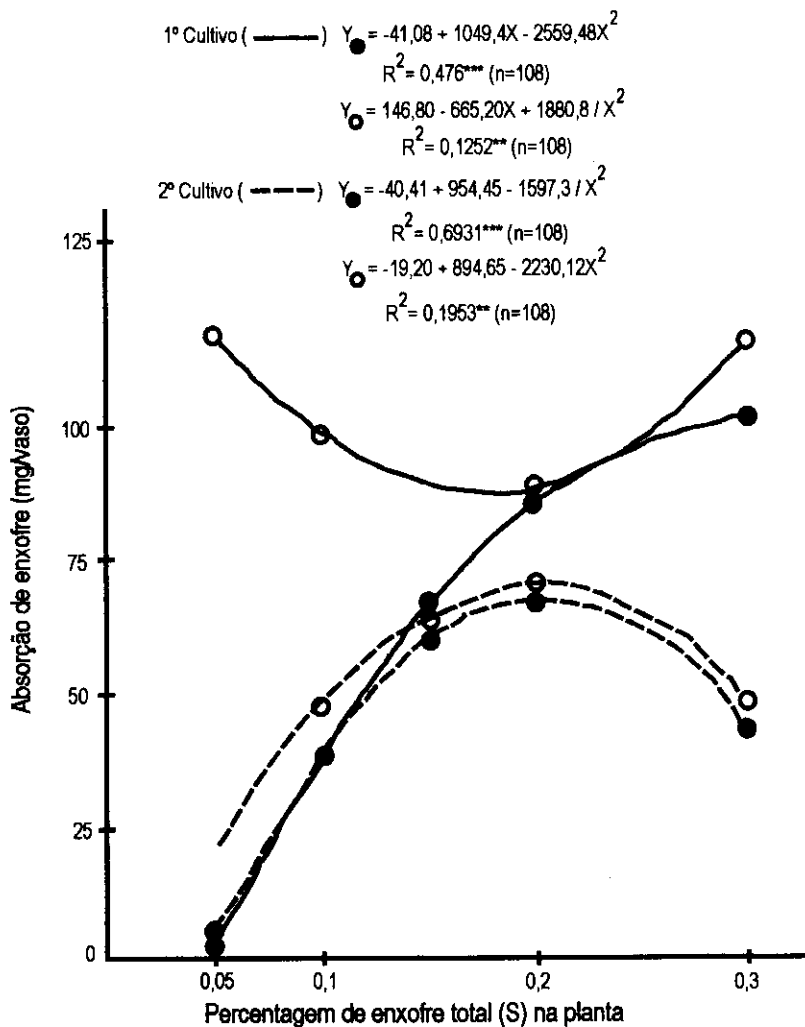


Figura 2 - Absorção de enxofre pelo milho *versus* teores de S total) nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono (o = carbono < 1,2 % e O = carbono > 1,2 %) e em dois cultivos (primeiro cultivo e segundo cultivo)

Com relação às forrageiras tropicais o nível crítico de S total é de difícil interpretação, devido ao rápido declínio ao longo do período de desenvolvimento. Em geral, as forrageiras costumam apresentar crescimento rápido. Segundo SMITH & DOLBY (1977), em capim colômbio o nível crítico diminui de 0,15 %, aos 18 dias após a rebrota, para 0,13 e 0,08 %, respectivamente, 7 e 14 dias mais tarde. Nas condições deste experimento verificou-se ainda que em solos de diferentes texturas e teores de carbono, adubações pesadas de nitrogênio e fósforo têm influência marcante nas razões N/S e P/S.

Segundo, COLEMAN (1966) a deficiência de enxofre, em nível mundial, manifesta-se com maior frequência em solos arenosos. Nas condições brasileiras deficiências de enxofre foram detectadas em diversas situações. Mc CLUNG & FREITAS (1959) afirmam que as constantes queimadas da vegetação dos cerrados conduzem à perda do enxofre por volatilização, chegando a 75 %. Mc CLUNG & QUINN (1959) e WANG *et al.* (1976a,b) constataram a rápida depleção do enxofre nativo, quando são usadas elevadas doses de fertilizantes NP isentos de enxofre. Nas condições deste experimento verificaram-se relações muito estreitas entre as razões N/S e P/S *versus* produção de massa seca e absorção de enxofre como consta na Tabela 3. Ao contrário do teor de S total, as razões N/S do primeiro e segundo cultivos e a conjunta apresentam coeficientes de determinação mais elevados para os solos com maiores teores de carbono, se comparados com os solos arenosos, embora significativos a 1 % de probabilidade, em ambos os casos.

Na Figura 3 observam-se as respectivas equações de regressão (modelo exponencial,  $Y = a \cdot e^{bx}$ ). Constata-se que o desbalanço do enxofre em relação ao nitrogênio é agravado pela adubação nitrogenada. As curvas referentes ao primeiro cultivo mostram que o valor crítico da razão N/S está ao redor de 10/1 para os dois grupos de solos, valor este que se aproxima do encontrado por Mc NAUGHT & CHRISTOFFELS (1961) para gramíneas, de 11/1. Segundo HUMPHREY & MOORE (1965), a razão N/S tem a vantagem de ficar relativamente constante nos diversos estádios de desenvolvimento das plantas, o que é confirmado por MAYNARD *et al.* (1983), que obtiveram produções de sementes de colza inversamente proporcionais à razão N/S. Devido à grande variação em função dos estádios de desenvolvimento das plantas (SMITH & DOLBY, 1977) e da variação climática (CLARK & LEWIS, 1974), os valores de S total têm pouco valor interpretativo.

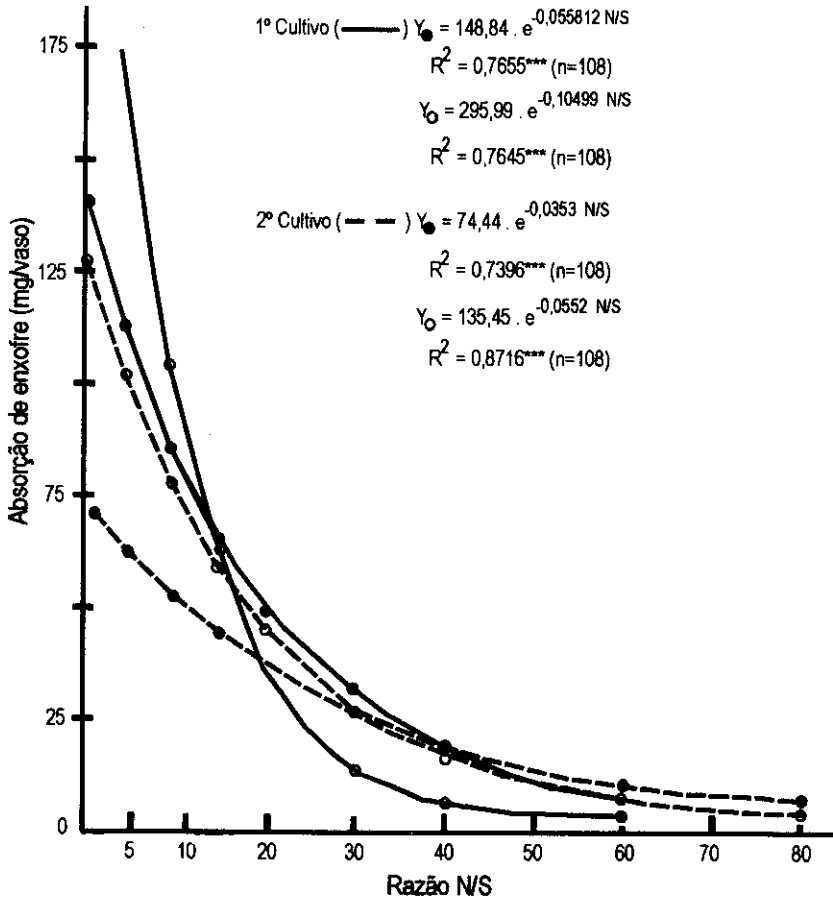


Figura 3 - Absorção de enxofre pelo milho *versus* razões N/S nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono (o = carbono < 1,2 % e O = carbono > 1,2 %) e em dois cultivos (primeiro cultivo e segundo cultivo).

Na Figura 4. observam-se ainda os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) da produção de matéria seca e absorção de enxofre *versus* razões P/S na parte aérea do milho. No primeiro cultivo, tanto para a matéria seca quanto para a absorção de enxofre, os coeficientes de determinação não lograram significância estatística. A alta significância dos coeficientes no segundo cultivo explica-se pelas elevadas adubações feitas nos dois cultivos. Como conseqüência obtiveram-se razões P/S elevadas, inversamente proporcionais à produção de matéria seca e absorção de enxofre. Todavia, não é possível identificar precisamente a razão P/S que caracteriza a deficiência de enxofre para o milho. Tentativamente, propõe-se o valor de 1/1 para a razão P/S.

É escassa a literatura sobre a razão P/S como indicativo de deficiência em plantas. MALAVOLTA *et al.* (1984a) julgam a razão P/S > 2 como indicadora de deficiência em capim colonião. Em outro experimento, MALAVOLTA *et al.* (1984b), nos tratamentos sem enxofre, estabeleceram a deficiência de S com as relações P/S de 0,6 na lâmina foliar e P/S de 0,5 no pecíolo.

Os dados deste experimento mostram que em solos arenosos o desequilíbrio fósforo/enxofre pode evidenciar-se com mais facilidade, o que é corroborado por experimentos de Mc CLUNG & QUINN (1959) com grama batatais, mostrando interação significativa entre adubações fosfatada e sulfatada na produção de matéria seca no terceiro corte. Em solos arenosos da Dinamarca JENSEN (1963) verificou que adubações fosfatadas pesadas levam à lixiviação do  $S-SO_4^-$  para as camadas mais profundas. Tentativamente, MALAVOLTA (1980) propõe que a relação  $P_2O_5/S$  na adubação seja igual a 7-10/1, como meio de prevenir a deficiência de enxofre nos solos.

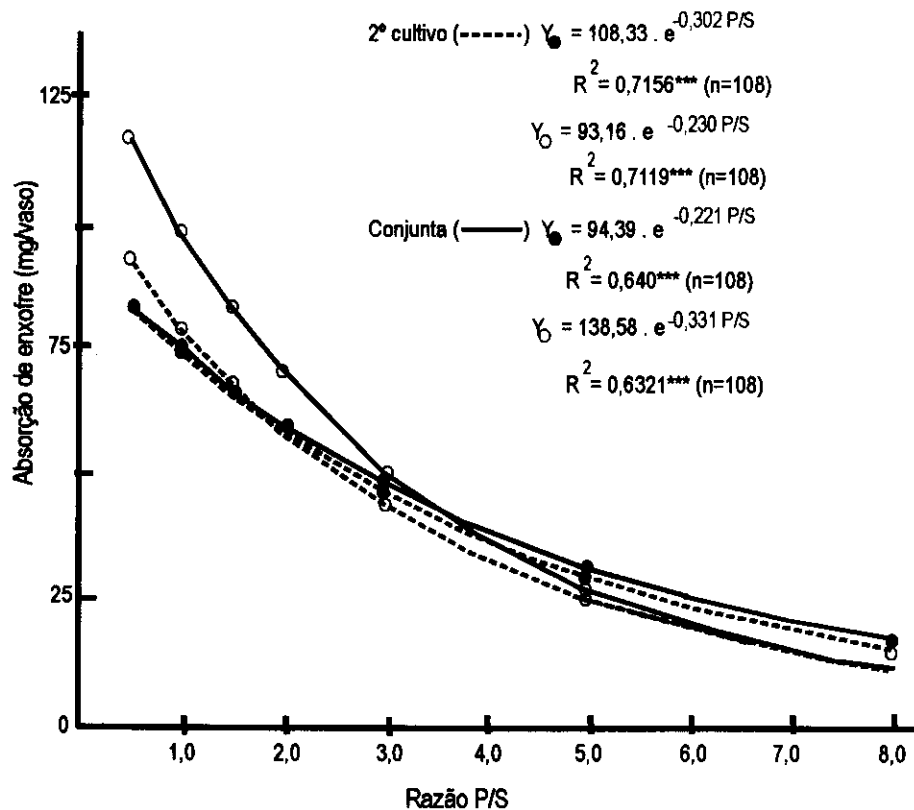


Figura 4 - Absorção de enxofre pelo milho *versus* razões P/S nas plantas, com agrupamento dos solos pelos teores de carbono (o = carbono < 1,2 % e O = carbono > 1,2 %) e em dois cultivos (primeiro cultivo e segundo cultivo)

## CONCLUSÕES

A razão N/S da parte aérea do milho que caracteriza a deficiência de enxofre está por volta de 10 a 12, relacionada com a absorção de enxofre. A correlação foi altamente significativa no primeiro e segundo cultivos. A razão N/S revelou-se, dentre os parâmetros estudados, a mais precisa para diagnosticar a deficiência de enxofre em plantas.

A razão P/S na parte aérea do milho não apresentou correlação significativa com a absorção de enxofre no primeiro cultivo. Na análise conjunta dos dois cultivos e no segundo, isoladamente, as correlações foram significativas. Não foi possível estabelecer precisamente a razão que caracteriza a deficiência de enxofre, propondo-se, tentativamente, o valor P/S 1/1 como nível crítico.

Os níveis críticos de enxofre total na parte aérea do milho em função da produção de matéria seca e absorção de enxofre foram de 0,14 % e 0,20 %, respectivamente, no primeiro cultivo dos solos arenosos; no segundo cultivo obteve-se o nível crítico de 0,14 % para ambos os casos. No primeiro cultivo dos solos argilosos (com teores de carbono superiores a 1,2 %), os coeficientes de regressão não significativos não permitiram estabelecer os níveis críticos; no segundo, os níveis críticos de enxofre total foram de 0,20 % para a produção de matéria seca e de 0,30 % para a absorção de enxofre.

## ABSTRACT

Sulphur availability in brazilian soils. V. evaluation of sulphur nutritional status in plants.

A greenhouse experiment was carried out with surface samples of 12 soils from the States of São Paulo, Minas Gerais and Goiás (Brazil). Carbon content varied from 0.50 to 3.03%, total sulphur from 0.0104 to 0.0319% and clay content varied from 8 to 60%. Corn (*Zea mays* L.) was grown in two successive crops in the presence of three rates of S applied as gypsum, namely 0, 20 40 and ppm, previously incubated in absence and presence of lime. For the evaluation of the nutritional status of corn plants total sulphur and N/S and P/S ratios against dry matter yield and sulphur absorption were correlated. In sandy soils the critical level for total S in the tops of the corn plants were 0.14% and 0.20%, respectively, for dry matter and S uptake, in the case of the first cropping; for the second cropping it was 0.14% S. In the case of clayey soils (carbon > 1.2%), correlation coefficients were not significant in the first cropping; in the second one, however, the critical levels were found to be 0.20% for dry matter yield and 0.30% for S uptake. Close relationships were found, both in the first and in the second cropping, when the N/S ratio in the tops was plotted against S uptake: sulphur deficiency is associated with a ratio of 10-12/1. When data from the



two croppings were analysed jointly, as well as in the case of the second one, significant correlations between P/S and S absorption were found. It is suggested that the P/S ratio 1/1 should be used as a critical value. The N/S ratio proved to be the most reliable parameter for the evaluation of the nutritional status of the plants with respect to sulphur.

KEY WORDS: Sulphur in plants, critical levels, N/S ratio, P/S ratio

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA NETO, J.X. de; & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. do. Fixação de fósforo em três solos sob cerrado em Goiás. *Rev. bras. Ci. Solo*, Campinas, v.1, n.1, 1977, p.12-5.
- BLAIR, G. *Sulfur in the tropics*. Muscle Shoals, Alabama, IFDC. 1979. 69p. (Boletim técnico, T-12).
- COLEMAN, R. The importance of sulfur as plant nutrient in world crop production. *Soil Sci.*, Baltimore, v.101, n.4, 1966, p.230-239.
- CLARK, A.L.; LEWIS, D.C. *Handbook on Sulphur in Australian Agriculture; South Australia*. In: Mc LACHLAN, K.D. (ed.). CSIRO, Melbourne. 1974. p.42-9.
- DIJKSHOORN, W. & VIJK, A.L. VAN. The sulphur requirements of plants as evidenced by sulphur-nitrogen ratios in the organic matter: a review of published data. *Plant & Soil*, The Hague, v.26, n.1, 1967, p.129-57.
- FONTES, M.P.F. Disponibilidade de enxofre em diferentes extratores químicos em alguns latossolos do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1979. Tese(Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa). 63p.
- FRENEY, J.R.; SPENCER, K.; JONES, M.B. The diagnosis of sulfur deficiency in wheat. *Austr. J. Agr. Res.*, Melbourne, v.29, n.4, 1978, p.729-38.
- 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. Sc. Food Agr.*, London, v.72, n.2, 1963, p.562-73.
- GOH, K.M; KEE, K.K. Effects of nitrogen and sulfur fertilization on the digestibility and chemical composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant & Soil*, The Hague, v.50, n.1, 1978, p.161-7.
- HUMPHREY, F.V.; MOORE, D.P. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa from plant analysis. *Agron. J.*, Madison, v.57, n.4, 1965, p.364-6.
- JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. Sulfur nutrition of rapeseed. I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Sci. 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 ne solos brasileiros. Piracicaba, SP. 1987. Tese (Doutoramento - ESALQ/USP). 231p.
- MALAVOLTA, E. *Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras*. Piracicaba, SP. POTAFOS, 1980. 43p. (Boletim técnico, 4).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; FERNANDES, D.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUILHERME, M.R.; EIMORI, I.; VASCONCELLOS, L.A.B.C.; MORAES, C.L.; KAMINSKI, J.; MUTTON, M.A.; CARVALHO, J.G.C.; RUY, V.M. *Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. I. Capim colonião (Panicum maximum Jacq.)*. São Paulo, SN, Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio. 1984a. p.9-22. (Boletim técnico, 3).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; FERNANDES, D.; CARVALHO, J.G.; MALAVOLTA, M.L.; ZAMBELLO, F.C. *Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. II. Colza (Brassica napus L. var. oleifera)*. São Paulo, SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio. 1984b. p.26-42. (Boletim Técnico, 3)
- MAYNARD, D.G.; STEWART, J.W.B.; BETTANY, J.R. Use of plant analysis to predict deficiencies in rapeseed (*Brassica napus* and *B. campestris*). *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, v.63, n.2, 1986, p.387-96.
- Mc CLUNG, A.C.; FREITAS L.M.M de. Sulfur deficiency in soils from brazilian campos cerrados. *Ecology*, Durham, v.40, n.2, 1959, p.315-7.
- 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.; QUINN, W.L. *Resposta da grama batatais (Paspalum notatum L.) às aplicações de enxofre e fósforo*. São Paulo, SP. Instituto de Pesquisas IRI. 1959. [Boletim Técnico, 29].
- McNAUGHT, K.N.; CHRISTOFFELS, P.J.E. Effect of sulphur deficiency on sulphur and nitrogen levels in pastures and lucerne. *New Z. J. Agr. Res.*, Wellington, v.4, n.2, 1961, p.177-85.
- OSINAME, O.A.; KANG, B.T. Response of rice to sulphur application under upland conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.6, n.6, 1975, p.585-98.
- 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.

- QUINN, B.F.; WOODS, P.H. Rapid manual determination of sulphur and phosphorus in plant material. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.7, n.4, 1976, p.415-26.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Manual de análise foliar*. Piracicaba, SP. ESALQ/USP. 1974. 56p. (mimeo.)
- SMITH, J.L.; DOLBY, G.R. Derivation of diagnostic indices for assessing the sulphur status of (*Panicum maximum* var. *trichoglume*). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.8, n.3, 1977, p.221-40.
- VITTI, G.C.; RODELLA, A.A. *A determinação do enxofre-sulfato em matéria vegetal pelo método turbidimétrico*. Jaboticabal, Fac. Ci. Vet. Agr. - UNESP. 1984. 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. Inst. 1976a. 47p. (Boletim, 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 rice production*. New York, IRI Res. Inst., 1976b. 46p. (Boletim técnico, 48).