

CARACTERIZAÇÃO DE DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS EM SOLOS DE VÁRZEAS DA REGIÃO DOS CERRADOS¹

E.Z. GALRÃO, D.M.G. DE SOUSA e J.R.R. PERES²

RESUMO - Avaliou-se, em casa de vegetação, o efeito do calcário, S, Cu, Zn, B e Mo na produção da matéria seca, número e peso de nódulos da soja (*Glycine max* (L.) Merrill, var. Doko, em dez solos de várzeas da Região dos Cerrados com ampla variação nas suas propriedades químicas e físicas. Utilizou-se como esquema experimental um fatorial fracionado 2⁶, em dois blocos. Os nutrientes foram aplicados na base de mg do elemento por litro de solo seco (mg/l) : 0 e 30 de S (enxofre elementar), 0 e 2 Cu (CuCl), 0 e 3 de Zn (ZnO), 0 e 0,5 de B (H₃BO₃), 0 e 0,25 de Mo (Na₂MoO₄·2H₂O), e, 0 e uma dose de calcário, determinada pelo método SMP, para elevar o pH de cada solo a 5,5. A adubação básica (mg/l) constou de 100 de P e 127 de K (KH₂PO₄), e mais 73 de K (KCl). Dos dez solos estudados, oito responderam à calagem. Quanto ao efeito de cada nutriente nos parâmetros avaliados (matéria seca, número e peso de nódulos), as respostas obedeceram à seguinte ordem: B > S > Cu > Zn. Não foi constatada resposta ao molibdênio. Houve efeito das interações calcário x B, calcário x S, calcário x Zn, Cu x Zn e S x B, nos parâmetros avaliados.

Termos para indexação: soja, calagem, enxofre, boro, cobre, zinco, molibdênio, várzeas.

CHARACTERIZATION OF NUTRITIONAL DEFICIENCIES ON LOW LANDS OF THE CERRADO REGION

ABSTRACT - The effect of lime, S, Cu, Zn, B and Mo on the dry matter yield, number and dry weight of nodules of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), variety Doko, was evaluated in ten paddy soils of the Cerrado Region. The soils showed a large difference in their chemical and physical properties. The experimental design was an incomplete 2⁶ factorial with two replications. The nutrients were applied on the basis of mg of each element per liter of dry soil (mg/l) : 0 and 30 of S (elemental sulphur), 0 and 2 of Cu (CuCl), 0 and 3 of Zn (ZnO), 0 and 0.5 of B (H₃BO₃), 0 and 0.25 of Mo (Na₂MoO₄·2H₂O), and, 0 and a quantity of lime determined by the SMP method sufficient to increase the pH of each soil to 5.5. A basic fertilization was used (mg/l) : 100 of P and 127 of K (KH₂PO₄) and 73 of K (KCl). Eight out of the ten soils responded to lime. For the parameters evaluated (dry matter yield, number and dry weight of nodules), the response of the nutrients was in the following sequence: B > S > Cu > Zn. There was no effect of Mo on any of these parameters. An effect of the interactions lime x B, lime x S, lime x Zn, Cu x Zn and S x B on the dry matter yield, number and dry weight of nodules was observed.

Index terms: soybean, lime, sulphur, boron, copper, zinc, molybdenum, paddy soils.

INTRODUÇÃO

Dentre as áreas a serem incluídas no processo produtivo existem as várzeas, que na região dos Cerrados ocupam aproximadamente 11.920.000 ha (Brasil, 1980). A importância e a necessidade de utilização dessas várzeas está no fato de elas podem ser exploradas intensivamente, através do aproveitamento dos seus recursos hídricos, sem dispêndio de energia. Para tanto, torna-se necessário conhecer, entre outras limitações, aquelas relacionadas com as deficiências nutricionais de seus principais tipos de solo.

O objetivo deste trabalho é o de caracterizar as limitações desses solos quanto à acidez e deficiências de S, B, Cu, Mo e Zn, bem como as interações entre esses fatores, através da produção da matéria seca, número e peso de nódulos da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados trinta e quatro perfis de solos de várzeas das principais bacias hidrográficas da região dos Cerrados. Com base nesses resultados, foram selecionados os solos da Tabela 1, de tal forma que entre eles houvesse solos com alta e com baixa probabilidade de resposta ao calcário, S, B, Cu, Mo e Zn. As amostras desses solos foram coletadas na profundidade de 0-20 cm.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se como esquema experimental um fatorial fracionado 2⁶, proposto por Cochran & Cox (1957), em

¹ Aceito para publicação em 19 de março de 1984

² Eng. Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 70.0023, CEP 73300 Planaltina, DF.

TABELA 1. Características químicas e físicas de dez solos de várzeas da região dos Cerrados.

Solo ¹	Classificação ²	pH água (1:1)	pH KCl (1:1)	pH SMP	Calcário (SMP-pH 5,5)	Ca	Mg	Al	Sat. Al	P	K	S-SO ₄ ⁻	M.O.	%	
														meq/100g	ppm
A	Gley Pouco Húmico	5,35	4,00	5,40	7,8	6,94	4,32	0,12	1,0	4,8	131	7,0	3,24		
B	Lateria Hidromórfica	5,20	4,00	6,70	1,1	0,42	0,03	0,23	31,5	13,5	18	traços	0,77		
C	Lateria Hidromórfica	5,30	4,00	6,80	0,5	1,30	0,60	0,13	6,1	4,0	38	3,0	0,71		
D	Orgânico	4,65	3,85	4,80	11,0	2,24	0,18	2,61	48,5	33,8	135	10,0	13,13		
E	Lateria Hidromórfica	4,75	3,75	6,50	2,1	0,24	0,05	0,43	50,5	6,4	53	traços	0,82		
F	Lateria Hidromórfica	4,90	4,00	6,20	3,7	0,51	0,13	0,60	40,2	7,2	97	traços	1,89		
G	Areia Quartzosa Hidromórfica	4,75	3,80	5,85	5,5	0,07	0,04	0,80	80,8	3,6	31	traços	1,75		
H	Aluvial	5,10	3,90	6,10	4,2	5,44	2,30	0,02	0,2	8,3	58	17,0	1,90		
I	Areia Quartzosa Hidromórfica	5,15	3,90	6,15	3,9	0,22	0,07	0,42	53,1	2,1	32	2,0	1,75		
J	Orgânico	5,00	3,70	5,00	10,0	0,15	0,08	3,45	89,8	4,3	62	8,0	13,25		

	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Densidade global	Argila	Silte	%		Capac. de campo
									Areia fina	Areia grossa	
A	5,0	11,1	126	3,9	0,10	1,006	73	10	14	3	38,5
B	0,4	5,8	315	14,7	0,09	1,329	10	1	52	37	7,3
C	0,6	2,0	189	12,5	0,13	1,269	20	3	32	45	12,3
D	1,1	0,0	63	5,3	0,20	0,579	30	21	46	3	64,2
E	0,7	0,2	84	2,2	0,14	1,253	14	2	43	41	9,0
F	2,5	0,5	168	25,2	0,18	1,124	30	5	37	28	18,5
G	0,3	0,1	21	0,4	0,17	1,335	7	1	31	61	8,9
H	4,2	5,2	1134	193,2	0,31	0,976	37	45	15	3	35,3
I	1,1	0,1	1155	2,0	0,24	1,214	5	2	28	65	12,6
J	0,9	0,3	1428	0,7	0,23	0,610	30	24	36	10	53,0

1 Localidade: A - Maurilândia, GO; B - Santa Vitória, MG; C - Pirapora, MG; D - Paracatú, MG; E - Aruanã, GO; F - Formoso do Araguaia, GO; G - Pedro Afonso, GO; H - Alvorada, GO; I - Barreiras, BA e J - Planaltina, DF.

2 Classificação: Conforme Benner & Camargo (1964) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1981).

dois blocos. Os vasos continham 4,5 litros de cada solo previamente secado ao ar e tamizado em peneira com malha de 2 mm. Todos os nutrientes foram aplicados na base de mg do elemento por litro de solo seco (mg/l). A adubação básica (mg/l) constou de 100 de P (KH_2PO_4), que forneceu também 127 de K, e mais 73 de K (KCl). Os demais nutrientes foram aplicados, separadamente, de acordo com os seguintes tratamentos em mg/l: 0 e 30 de S (enxofre elementar), 0 e 2 de Cu (CuCl_2), 0 e 3 de Zn (ZnO); 0 e 0,5 de B (H_3BO_3), e, 0 e 0,25 de Mo ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Metade dos tratamentos de cada solo não recebeu calcário. A outra metade recebeu uma dose determinada pelo método SMP (Sousa et al. 1980), necessária para elevar o pH de cada solo a um valor em torno de 5,5 (Tabela 1). O calcário foi aplicado na forma de uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 , na proporção de 3:1, ou seja, 3 meq de Ca para 1 meq de Mg por 100 ml de solo seco. Tanto a adubação básica como os demais nutrientes foram aplicados na forma sólida. A única exceção foi o molibdênio, que foi aplicado em solução. O solo de cada vaso sofreu duas homogeneizações em sacos de plástico: a primeira, após a aplicação dos nutrientes na forma sólida; e a segunda, após a aplicação do molibdênio. A umidade de cada solo foi mantida à capacidade de campo com água desmineralizada. Como planta teste, foi semeada soja, var. Doko. As sementes foram inoculadas com 5 ml de inoculante líquido por vaso. O inoculante continha aproximadamente 10^6 células de *Rhizobium japonicum* (29W e 587) por ml. Aos quinze dias após a semeadura fez-se o desbaste, deixando-se três plantas por vaso. A parte aérea foi coletada aos quarenta e dois dias após a semeadura, secada em estufa a 65°C por 72 horas, pesada e moída. Para a sua análise, empregou-se a digestão por via úmida, com ácido sulfúrico e água oxigenada. As concentrações de K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu e Mn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, e a de P, conforme o método de Murphy & Riley (1962). O N foi determinado pelo método de Bremner & Keeny (1965). Para a determinação do B fez-se a digestão por via úmida, e, para a do S, fez-se inicialmente a digestão por via úmida com nitrato de magnésio, e, posteriormente, por via seca; o B foi determinado pelo método da curcumina, e o S, pelo de Bardsley & Lancaster (1960).

Após a colheita, as raízes de cada vaso foram separadas do solo, para a determinação do número e peso de nódulos secos. Nas análises químicas dos solos, as determinações de pH (água), pH (KCl), Ca, Mg, P e K foram feitas conforme os métodos descritos em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979b). A determinação do Ca e do Mg foi feita por espectrofotometria de absorção atômica. O alumínio foi extraído por KCl 1 N, na relação solo: solução 1:10, e determinado pelo método do alumínio (McLean 1965). O enxofre foi extraído segundo Barrow (1967) e determinado conforme Bardsley & Lancaster (1960). O B foi extraído conforme Gupta (1967) e determinado pelo método da curcumina. A matéria orgânica foi determinada conforme Jackson

(1964). Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn, foram extraídos pelo método de Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N), e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. As análises físicas foram feitas segundo os métodos descritos em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito da calagem

A aplicação de calcário aumentou o peso de matéria seca (MS) em quase todos os solos com exceção dos solos A (Gley Pouco Húmico) e H (Aluvial). No solo A, o aumento foi significativo apenas para o peso de nódulos (Tabela 2). Este aumento no peso de nódulos sem refletir na produção de MS pode ser explicado pela alta exigência em cálcio da simbiose. Segundo Andrew (1962), a concentração de cálcio na planta, necessária para o perfeito funcionamento da fixação do nitrogênio atmosférico, é maior do que aquela exigida para o desenvolvimento da planta em si. A não-resposta à calagem desses dois solos foi devida aos teores adequados de cálcio e magnésio e à baixa saturação de alumínio da testemunha (Tabela 3), o que foi comprovado pelos teores suficientes de cálcio e magnésio do tecido, conforme Malavolta et al. (1974) e Trani et al. (1983) (Tabela 4).

Os aumentos nos parâmetros avaliados na maioria dos solos pela aplicação do calcário são devidos, em parte, à elevação do pH, aumento dos teores de cálcio e magnésio, e, conseqüentemente, redução na saturação de alumínio (Tabela 3). Com a aplicação do calcário, os teores de cálcio e magnésio, dependendo do solo, passaram de um nível de insuficiência para outro de suficiência segundo Malavolta et al. (1974) (Tabela 4). A redução na saturação de alumínio provavelmente permitiu que as raízes explorassem um maior volume de solo e, conseqüentemente, absorvessem maior quantidade de água e nutrientes (Gonzalez-Erico 1976). Vários trabalhos (Miranda & Lobato 1981, Novais 1981, Freitas et al. 1963, Costa et al. 1981) mostraram resposta da soja à aplicação de calcário em solos ácidos.

Apesar de os solos terem recebido uma adubação básica adequada, que, teoricamente, lhes permitiria atingir produções semelhantes, houve grande diferença no peso de MS entre os mesmos, va-

TABELA 2. Efeito do calcário na produção de matéria seca, número e peso de nódulos¹.

Solo	Classificação	Matéria seca		Número de nódulos		Peso de nódulos	
		Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
		mg/vaso		número/vaso		mg/vaso	
A	Gley Pouco Húmico	5,7 a	5,8 a	155 a	158 a	247 b	283 a
B	Lateria Hidromórfica	2,7 b	9,5 a	18 b	155 a	9 b	325 a
C	Lateria Hidromórfica	10,4 b	11,3 a	226 a	223 a	718 b	778 a
D	Orgânico	12,0 b	13,3 a	65 b	120 a	125 a	155 a
E	Lateria Hidromórfica	6,2 b	12,6 a	108 b	564 a	275 b	1103 a
F	Lateria Hidromórfica	11,6 b	13,4 a	110 b	203 a	488 b	602 b
G	Areia Quartzosa Hidromórfica	0,6 b	8,3 a	15 b	200 a	12 b	173 a
H	Aluvial	6,4 a	6,5 a	110 a	127 a	99 a	103 a
I	Areia Quartzosa Hidromórfica	0,6 b	3,3 a	8 b	29 a	6 a	12 a
J	Orgânico	0,7 b	8,2 a	1 b	103 a	3 b	128 a

¹ Para cada solo, os valores com a mesma letra, não são significativos pelo teste D.M.S. ao nível de 5%.

TABELA 3. Características químicas dos solos após a colheita¹.

Solo ²	pH água (1:1)	pH KCl (1:1)	Ca	Mg	Al	Sat. Al	P	K	S-SO ₄ ^m	Zn	Cu	Fe	Mn	B	M.O.
A ₁	4,80	4,10	6,56	4,15	0,17	1,4	16,6	180	10	4,7	12,4	75	3,7	0,10	3,16
A ₂	5,85	5,10	9,18	5,21	0,0	0,0	17,8	180	21	5,8	1,8	55	2,8	0,32	3,26
B ₁	4,70	4,10	0,33	0,02	0,16	18,8	58,8	134	5	0,5	1,4	176	8,2	0,09	0,84
B ₂	5,25	4,50	0,78	0,13	0,02	1,7	58,8	96	6	1,2	2,3	231	8,2	0,47	0,89
C ₁	4,65	3,90	0,90	0,52	0,11	6,2	41,1	85	14	0,4	1,4	132	8,0	0,12	0,74
C ₂	4,80	4,10	1,22	0,57	0,06	2,9	39,5	82	19	1,1	2,0	154	7,6	0,24	0,89
D ₁	4,35	3,90	1,66	0,09	3,45	59,5	55,1	270	14	1,6	0,3	29	8,1	0,26	14,30
D ₂	5,55	4,80	10,50	2,71	0,0	0,0	65,5	285	57	3,0	1,0	18	7,2	0,39	15,33
E ₁	4,35	3,80	0,22	0,04	0,36	37,1	47,1	136	2	0,5	0,4	59	1,8	0,14	0,87
E ₂	5,60	5,00	1,11	0,57	0,0	0,0	51,0	97	10	1,3	0,9	63	1,6	0,39	1,02
F ₁	4,55	4,10	0,42	0,09	0,70	45,7	21,3	124	traços	1,9	0,7	143	9,5	0,21	1,89
F ₂	5,70	5,00	2,10	0,56	0,0	0,0	24,7	114	22	2,3	1,6	110	8,6	0,37	2,03
G ₁	4,90	4,00	0,06	0,04	0,60	55,5	48,4	147	traços	0,4	0,2	10	0,3	0,14	1,89
G ₂	6,10	5,40	1,95	0,62	0,0	0,0	55,3	97	22	1,9	1,4	10	0,5	0,33	2,29
H ₁	5,00	4,00	5,25	2,11	0,09	1,2	19,4	118	3	3,5	5,9	946	172,7	0,27	2,14
H ₂	5,80	5,00	6,89	2,69	0,0	0,0	22,1	106	29	4,4	7,0	891	130,9	0,38	2,08
I ₁	5,45	4,20	0,02	0,01	0,18	28,2	26,8	166	2	0,5	0,2	473	1,2	0,11	1,78
I ₂	6,30	5,80	1,26	0,47	0,0	0,0	26,6	145	22	2,0	1,4	396	0,5	0,49	1,88
J ₁	4,65	3,90	0,11	0,07	3,43	75,9	41,8	355	16	0,8	0,4	63	1,5	0,18	14,11
J ₂	5,45	4,80	8,53	2,74	0,0	0,0	45,6	254	57	1,7	1,0	44	1,1	0,50	14,55

¹ A₁, B₁ ... J₁ receberam apenas a adubação básica de P e K; A₂, B₂ ... J₂ além da adubação básica, receberam calcário, S, Zn, Cu, B e Mo.

² Conforme Tabela 1.

TABELA 4. Teores de macro e micronutrientes no tecido da soja após a colheita¹.

Solo ²	Ca	Mg	N	P	K	S	ZN	Cu	Fe	Mn	B
	%						ppm				
A ₁	1,32	0,42	2,08	0,15	2,54	0,24	66,0	4,0	60,0	85,0	33
A ₂	1,34	0,45	2,69	0,14	2,92	0,32	76,5	6,0	83,0	85,0	55
B ₁	0,36	0,11	5,08	0,35	4,21	0,33	65,0	6,0	199,0	168,0	29
B ₂	0,88	0,27	3,08	0,24	3,02	0,33	76,0	5,5	80,0	67,0	82
C ₁	0,84	0,29	1,79	0,27	2,15	0,19	72,0	4,0	67,5	140,0	39
C ₂	0,96	0,35	2,89	0,33	3,11	0,37	90,5	5,5	136,0	139,0	74
D ₁	0,82	0,20	2,42	2,68	2,05	0,34	37,5	3,5	64,0	120,0	24
D ₂	1,27	0,47	2,05	2,86	2,42	0,34	46,0	3,5	54,0	74,0	60
E ₁	0,44	0,14	2,24	0,43	3,98	0,32	77,5	3,5	74,0	180,0	45
E ₂	0,95	0,33	2,44	0,25	2,78	0,35	49,5	5,0	88,5	58,0	64
F ₁	0,67	0,23	2,11	0,21	3,19	0,38	62,0	7,0	55,0	220,0	45
F ₂	1,08	0,35	2,36	0,23	2,53	0,32	43,5	9,0	222,5	87,0	75
G ₁	0,16	0,20	2,80	0,46	1,96	0,29	40,0	2,0	180,0	20,0	35
G ₂	0,93	0,35	1,89	0,11	2,14	0,40	46,0	9,0	42,5	13,0	58
H ₁	1,32	0,48	2,73	0,26	2,27	0,37	89,0	7,0	64,0	925,0	58
H ₂	1,21	0,43	3,30	0,23	2,81	0,36	71,0	6,5	80,5	280,0	80
I ₁	0,25	0,28	3,48	0,38	2,51	0,25	50,0	11,0	900,0	40,0	53
I ₂	1,34	0,46	3,35	0,12	2,68	0,30	39,5	3,5	100,0	16,5	74
J ₁	0,21	0,20	6,98	0,24	3,88	0,50	51,0	11,0	320,0	45,0	31
J ₂	0,84	0,36	3,81	0,19	2,32	0,45	38,0	6,0	67,5	17,0	68

¹ A₁, B₁ . . . J₁ receberam apenas a adubação básica de P e K; A₂, B₂ . . . J₂ além da adubação básica, receberam calcário, S, Zn, Cu, B e Mo.

² Conforme Tabela 1.

riando de 3,3 a 13,3 g de MS/vaso (Tabela 2). Analisando-se os teores dos nutrientes na parte aérea das plantas (Tabela 4), ficou evidenciado que os solos G, I e J, com baixas produções de MS, apresentaram teores de manganês de 13, 16,5 e 17 ppm, respectivamente, os quais estão abaixo do nível crítico estabelecido por Malavolta et al. (1974), Trani et al. (1983) e Jones Junior (1972). Esta diminuição da disponibilidade de manganês tornando-o limitante pode ser explicada pela elevação do pH (Lindsay 1972) e/ou pela formação de complexos poucos solúveis com a matéria orgânica (Page 1962), cujo teor no solo J (Orgânico) é elevado (Tabela 1).

O solo I (Areia Quartzosa Hidromórfica), além do manganês, apresentou teor de cobre abaixo do nível crítico, que pode ter sido responsável também pela sua baixa produção de MS (3,3 g/vaso).

Efeito do enxofre

A adição de enxofre aumentou a produção de MS somente no solo D (Orgânico) (Tabela 5), apesar de este solo apresentar, na testemunha, cerca de 14 ppm de enxofre, teor considerado acima do limite superior na faixa de suficiência (6 a 12 ppm) estabelecida por Reisenauer et al. (1973). O alto conteúdo de enxofre deste deve-se, provavelmente, ao seu elevado teor de matéria orgânica (Tabela 1), a qual é a principal fonte deste elemento para as plantas (Tabatabai & Bremner 1972, Costa 1980). O seu teor no tecido da testemunha (Tabela 4) também se encontra dentro da concentração normal, conforme Malavolta et al. (1974) e Trani et al. (1983). Presume-se que a resposta ao enxofre neste solo seja devida, em parte, ao seu baixo pH natural (4,65) e à alta saturação de alumínio, que impediram a mineralização da matéria

TABELA 5. Efeito da aplicação de enxofre, boro, cobre e zinco na produção de matéria seca, número e peso de nódulos¹.

Solo A - Gley Pouco Húmico				Solo B - Laterita Hidromórfica				Solo C - Laterita Hidromórfica			
Trat.	Nódulo	Nódulo	Matéria seca	Trat.	Nódulo	Nódulo	Matéria seca	Trat.	Nódulo	Nódulo	Matéria seca
	nº/vaso	mg/vaso	g/vaso		nº/vaso	mg/vaso	g/vaso		nº/vaso	mg/vaso	g/vaso
Sem B	196		5,4	Sem B	83	5,7		Sem B	200		
Com B	117	ns	6,0	Com B	252	6,4		Com B	250	ns	ns
Sem S	137	222		Sem S	70	124	ns	Sem S	175	478	ns
Com S	176	308	ns	Com S	104	210		Com S	276	1018	
Solo D - Orgânico				Solo E - Laterita Hidromórfica				Solo F - Laterita Hidromórfica			
Sem S	ns	111	11,7	Sem S	ns	581	ns	Sem B	ns	ns	12,0
Com S		170	14,0	Com S		797		Com B			13,0
								Sem Cu	ns	ns	11,0
								Com Cu			13,0
Solo I - Areia Quartzosa Hidromórfica				Solo J - Orgânico							
Sem B	11		1,2	Sem B	ns	ns	3,9				
Com B	26	ns	2,7	Com B			4,9				
Sem Cu	13	ns	1,7	Sem Cu	ns	ns	1,6				
Com Cu	25		2,2	Com Cu			2,1				
				Sem Zn	54	ns	ns				
				Com Zn	76						

¹ Os valores na mesma coluna, quando comparados na presença e ausência do elemento, são significativos pelo teste F ao nível de 5%.

ns = não significativo

orgânica (Costa 1980) e limitaram o desenvolvimento radicular, reduzindo, desta maneira, a absorção de água e nutrientes, inclusive o enxofre, pelas raízes.

O teor de enxofre no tecido das plantas da testemunha dos demais solos está dentro da faixa de suficiência (Malavolta et al. 1974, Trani et al. 1983). Isto explica a não-resposta dos mesmos à adição deste nutriente.

O aumento da nodulação com a aplicação de enxofre na maioria das vezes não se refletiu no aumento de MS, evidenciando a importância de se medir estes parâmetros microbiológicos, pois eles podem detectar uma possível deficiência deste nutriente antes mesmo de causar diminuição na produção da MS. Segundo Smith (1982), o enxofre faz parte da síntese de alguns aminoácidos essenciais, sendo a sua deficiência facilmente detectada pelos parâmetros determinantes da fixação do nitrogênio atmosférico.

Houve interação entre calcário e enxofre no aumento do peso de nódulos nos solos B (Laterita Hidromórfica) e E (Laterita Hidromórfica) (Tabela 6). Este efeito parece ter sido devido, em parte, ao aumento da disponibilidade do enxofre, ocasionado pela elevação do pH de 4,70 para 5,25 no solo B e de 4,35 para 5,60 no solo E, causando uma redução na adsorção do sulfato (Costa 1980), como também ao efeito indireto do calcário na absorção de maior quantidade de água e nutrientes, inclusive de enxofre, pelas raízes.

Efeito do boro

Dos dez solos estudados, cinco aumentaram significativamente a produção de MS com a adição de boro. O peso de nódulos só aumentou significativamente no solo B (Laterita Hidromórfica), o número de nódulos nos solos C (Laterita Hidromórfica) e I (Areia Quartzosa Hidromórfica) e, apesar de diminuir no solo A (Gley Pouco Húmico), não afetou a produção de matéria seca (Tabela 5).

TABELA 6. Efeito das interações entre nutrientes e, entre calcário e nutrientes, na produção de matéria seca, número e peso de nódulos.

Solo A - Gley Pouco Húmico			Solo F - Laterita Hidromórfica			Solo D - Orgânico			Solo I - Areia Quartzosa Hidromórfica		
Elet.	Matéria seca	Nódulo	Elet.	Nódulo	Matéria seca	Elet.	Nódulo	Matéria seca	Elet.	Nódulo	Matéria seca
Cu	mg/l	Zn	mg/vaso	mg/l	mg/vaso	S	mg/l	B	mg/vaso	mg/vaso	g/vaso
0	0	3	5,3	0	533	0	0	0	132	12,8	0
0	3	0	6,2	0	444	0	0,5	0,5	89	10,5	0
2	0	0	6,1	0	427	30	0	0	129	12,9	0
2	3	3	5,4	0,5	778	30	0,5	0,5	212	14,5	0,5
DMS (0,05)			0,3		158				35	1,0	
Solo C - Laterita Hidromórfica											
Calcário	Zn		mg/vaso	mg/l	mg/vaso	Calcário	B		Solo B - Laterita Hidromórfica		
0	0	3	10,4	0	2	0	0	0	8	2,7	0
0	3	0	10,3	0	17	0	0,5	0,5	10	2,6	0
240	0	0	10,8	528	246	528	0	0	157	8,7	0
240	3	3	12,0	528	405	528	0,5	0,5	494	10,2	0,5
DMS (0,05)			0,5		45				44	0,5	
Solo H - Aluvial											
Cu	Zn		mg/vaso	mg/l	mg/vaso	Calcário	S		Solo J - Orgânico		
0	0	3	6,2	0	226	0	0	0	Calcário	Zn	
0	3	0	6,9	0	324	0	30	0	0	0	3
2	0	0	6,8	1008	935	1008	0	0	4800	0	3
2	3	3	5,8	1008	1271	1008	30	30	4800	3	145
DMS (0,05)			0,3		66						15

Não existe um nível crítico de boro para os solos estudados. Conforme Reisenauer et al. (1973), solos com teores de boro extraídos com água quente, menores do que 1,0 ppm, provavelmente serão deficientes neste nutriente. O teor de boro da testemunha de todos os solos está abaixo deste nível crítico (Tabela 3), sugerindo que os mesmos responderiam à adição deste elemento. Como cinco dos dez solos não responderam ao boro, fica evidente que as tabelas de nível crítico estabelecidas para este elemento, em trabalhos conduzidos a campo, não são adequadas para os de casa de vegetação.

A aplicação conjunta de enxofre e boro no solo D (Orgânico) causou um aumento no peso de nódulos de 123 e 83 mg/vaso, respectivamente, em relação à aplicação do boro e enxofre isoladamente. A adição somente do boro causou um decréscimo significativo tanto no peso de nódulos como na produção de MS (Tabela 6). Isto pode ser explicado pelo teor de boro em excesso no tecido das plantas deste tratamento, conforme o nível crítico estabelecido por Malavolta et al. (1974) (Tabela 4). Este fato demonstra que a dose de boro aplicada neste solo foi tóxica, talvez, em parte, por causa do seu alto teor de matéria orgânica, que, através da sua mineralização, já o tivesse liberado em quantidade suficiente para as plantas (Gupta 1979).

No solo I (Areia Quartzosa Hidromórfica), a aplicação do boro na ausência do calcário diminuiu o número e peso de nódulos, com reflexo negativo na produção de MS (Tabela 6). No entanto, a aplicação conjunta do calcário e do boro, causou um grande aumento na nodulação e na produção de MS, talvez por motivo de alguma redução no efeito tóxico do boro pela elevação do pH de 5,45 para 6,30, pois, conforme Gupta (1979), a elevação do pH diminui a disponibilidade de boro para as plantas. Este fato é comprovado pelo teor adequado de boro no tecido do tratamento que recebeu calcário (Tabela 4).

Efeito do cobre

A aplicação de cobre aumentou a produção de MS dos solos F (Laterita Hidromórfica), I (Areia Quartzosa Hidromórfica) e J (Orgânico) (Tabela 5). Não existe um nível crítico de cobre para

estes solos. O teor deste elemento na testemunha dos solos F, I e J foram de 0,7; 0,2 e 0,4 ppm, respectivamente, indicando, portanto, deficiência deste elemento. O teor de cobre no tecido da soja no solo F é de 7,0 ppm e está abaixo do nível de suficiência conforme Malavolta et al. (1974), mas adequado de acordo com Jones Junior (1972). Nos solos I e J, o teor de cobre no tecido é de 11,0 ppm, o qual é considerado suficiente conforme Malavolta et al. (1974), Trani et al. (1983) e Jones Junior (1972). Com a adição de cobre nos solos I e J, o seu teor no tecido foi reduzido para 3,5 e 6,0 ppm, respectivamente (Tabela 4), valores estes considerados insuficientes conforme os autores referidos anteriormente. Esta redução pode ter sido causada, em parte, por um efeito de diluição (Small & Ohlrogge 1973), e/ou pela elevação do pH deste solos, que, provavelmente, reduziu a concentração de cobre na solução do solo (Lindsay 1972). No solo J, além desses fatores, pode ter havido uma redução na disponibilidade do cobre por causa da formação de complexos pouco solúveis com a matéria orgânica (Allison 1973, Stevenson 1982), já que o mesmo possui 13,2% de matéria orgânica (Tabela 1). Praticamente não houve efeito significativo deste nutriente na nodulação dos solos estudados, o que mostra a sua importância secundária na simbiose. Este aspecto foi discutido por Franco (1978), que menciona que outros autores não têm encontrado um papel específico do cobre na simbiose *Rhizobium* - leguminosa.

Entre as interações estudadas com o cobre, houve efeito negativo na produção de MS quando aplicado com o zinco no solo A (Gley Pouco Húmico) e H (Aluvial) (Tabela 6). No solo A, a aplicação conjunta do cobre e zinco causou uma redução de 0,8 g/vaso em relação à aplicação de zinco, e de 0,7 g/vaso em relação à aplicação do cobre. No solo H, a redução foi de 1,1 g/vaso em relação à aplicação de zinco, e de 1,0 g/vaso em relação à aplicação do cobre. Não existe um nível crítico de zinco e de cobre para estes solos. Lopes & Cox (1977), com base nos resultados de 518 amostras de solos de cerrado com ampla variação nas suas propriedades químicas e físicas, sugere um nível crítico de 0,8 ppm para zinco, e estima que o nível crítico para cobre seja inferior a 1,0 ppm, quando se emprega, na extração desses elementos, o método de

Mehlich 1. Os teores de zinco dos solos A e H, tanto da testemunha como do tratamento que os recebeu, estão acima do nível crítico de 0,8 ppm sugerido por Lopes & Cox (1977) (Tabela 5). Além disso, os teores de zinco do tecido destes tratamentos estão dentro da faixa normal de concentração conforme Malavolta et al. (1974) e Trani et al. (1983) (Tabela 4). Os teores de cobre destes solos estão acima de 1,0 ppm. Entretanto, os teores desse elemento no tecido da testemunha como no do tratamento que os recebeu permaneceram em níveis considerados insuficientes conforme Malavolta et al. (1974) e Trani et al. (1983) (Tabela 4). Presume-se que a aplicação de zinco nestes solos, que já o possuíam em nível adequado, deve ter interferido na absorção do cobre. De fato, Schmid et al. (1965) e Bowen (1969) sugerem que existe uma competição celular entre esses dois elementos, ou seja, o zinco inibe a absorção de cobre e vice-versa. Gilbey et al. (1970), citados por Olsen (1972), também observaram, em solos australianos, que aplicação de altas doses de zinco em solos deficientes em cobre induziram deficiência deste micronutriente no trigo e na cevada.

Efeito do zinco

Não houve aumento na produção da MS, nos solos estudados, com a aplicação de zinco, apesar de alguns destes solos possuírem teores destes nutrientes abaixo do nível crítico de 0,8 ppm sugerido por Lopes & Cox (1977) (Tabela 1). A não-resposta a este micronutriente é, até certo ponto, inesperada, pois os solos de cerrado bem drenados são reconhecidamente deficientes em zinco (Galvão 1984, Pereira et al. 1973, Britto et al. 1971, Freitas et al. 1958). Por outro lado, num trabalho desenvolvido em casa de vegetação, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979a), num LE argiloso, não se obteve resposta à adição de zinco em duas variedades de soja, apesar de que neste mesmo solo, mas em condições de campo, houve resposta significativa a este nutriente para o arroz, milho e soja (Galvão 1984). Souza³, trabalhando em condições de campo num solo orgânico de várzea, também obteve resposta

significativa na produção da soja pela adição de zinco. Esses resultados demonstram que, em experimentos conduzidos em vasos, a resposta do zinco pode não ser evidenciada pelo fato de as plantas não completarem o seu ciclo de desenvolvimento, fazendo com que neste período a quantidade deste nutriente do solo seja suficiente para atender às suas necessidades. Isto é comprovado pelos teores adequados de zinco no tecido da testemunha, mesmo nos solos supostamente deficientes (Tabela 4).

Com base nestes resultados, os autores sugerem que, em trabalhos com micronutrientes em casa de vegetação não podem ser tiradas conclusões definitivas, sendo necessário repetir os experimentos no campo.

CONCLUSÕES

1. Dos dez solos estudados, oito responderam à calagem.

2. Apenas o solo D (Orgânico) teve aumento na produção de matéria seca com a aplicação do enxofre. Na maioria dos solos, o aumento da nodulação com a aplicação de enxofre não refletiu no aumento de matéria seca. Este fato evidencia a possibilidade de se detectar uma possível deficiência desse elemento no solo, através da medição de parâmetros microbiológicos.

3. A aplicação do boro e do cobre aumentou a produção de matéria seca de cinco e de três solos respectivamente.

4. Não houve efeito da aplicação de zinco na produção de matéria seca de nenhum dos solos.

5. Não foi constatada resposta à aplicação de molibdênio em nenhum dos parâmetros avaliados (matéria seca, número e peso de nódulos).

6. Houve efeito das interações calcário x B, calcário x S, calcário x Zn, Cu x Zn e S x B, nos parâmetros avaliados.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas Jamil Macedo e Joaquim B. Rassini, pela classificação e coleta dos solos, e a Lúfz Hernán R. Castro e Antônio C. Gomes, pela análise estatística dos dados.

³ Souza, P.I. de M. de. 1983. Comunicado Pessoal.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1973. 637p.
- ANDREW, C.S. Influence of nutrition on nitrogen fixation and growth of legumes. In: _____ A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pastures. Hurley, CAB, 1962. p.130-46. (CAB. Past Field Crops. Bulletin, 46).
- BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J.B. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24:265-8, 1960.
- BARROW, N.J. Studies on extration and on availability to adsorbed plus soluble sulfate. Soil Sci., 104(4): 242-9, 1967.
- BENNEMA, J. & CAMARGO, M.N. Segundo esboço parcial da classificação de solos brasileiros. Rio de Janeiro. Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1964.
- BOWEN, J.E. Absorption of copper, zinc and manganese by sugar cane tissue. Plant Physiol., 44:255-61, 1969.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Programa Nacional de Aproveitamento Racional de Várzes Irrigáveis. PROVÁRZEAS Nacional (1.000.000 hectares). Brasília, 1980. (documento).
- BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. Steam distillation methods for determination of ammonia, nitrate and nitrite. Anal. Chem. Acta., 32:485-95, 1965.
- BRITTO, D.P.P. de S.; CASTRO, A.F. de; NERY, C. & COSTA, A.C. Ensaio de adubação de milho em Latossolo Vermelho-Amarelo sob vegetação de Cerrado. Pesq. agropec. bras., Ser. Agron., 6: 203-7, 1971.
- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. Factorial experiments in fractional replication. In: _____ Experimental designs. 2 ed. New York, J. Willey, 1957. cap. 6, p.244-92.
- COSTA, A. dos S. Mineralização do enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solo. Porto Alegre, UFRGS, 1980. 65p. Tese Mestrado.
- COSTA, A.V.; ROLIM, R.B. & KLIEMANN, H.J. Calagem e adubação da soja no Estado de Goiás. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C., ed. A soja no Brasil. São Paulo, BANESPA/FINEP, 1981. p.524-8.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Relatório Técnico Anual, 1977-1978. Planaltina, 1979a. v.3, 192p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Manual de Métodos de Análise de solo. Rio de Janeiro, 1979b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1981. Escala 1:5000.000.
- FRANCO, A.A. Micronutrient requirements of legume-Rhizobium symbiosis in the tropics. In: DÖBEREINER, J.; BURRIS, R.H.; HOLLAENDER, A.; FRANCO, A.A.; NEYRA, C.A. & SCOTT, D.B. Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. New York, Plenum Press, 1978. p.161-71 (Basic Life Sciences, 10).
- FREITAS, L.M.M. de.; MCCLUNG, A.C. & LOTT, W.L. Experimentos de adubação em dois solos de campo cerrado. São Paulo, Instituto de Pesquisas IRI, 1958. 29p. (Instituto de Pesquisas IRI. Boletim, 21).
- FREITAS, L.M.M. de.; MIKKELSEN, D.S.; MCCLUNG, A.C. & LOTT, W.L. Agricultura no cerrado; efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, São Paulo, 1962. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1963. p.323-57.
- GALRÃO, E.Z. Efeitos de micronutrientes e cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. R. bras. Ci. Solo, 8(1): 111-6, 1984.
- GONZALEZ-ERICO, E. Effects of depth of lime incorporation on the growth of corn in oxisols of Central Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1976. 125p. Tese Doutorado.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. Adv. Agron., 31:273-307, 1979.
- GUPTA, U.C. A simplified method for determining hot-water-soluble boron in podzol soils. Soil Sci., 103(6):424-7, 1967.
- JACKSON, M.L. Determinaciones de materia orgánica em los suelos. In: _____ Análise química de suelos. Barcelona, Omega, 1964, Cap. 9, p.282-310.
- JONES JUNIOR, J.B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p. 319-46.
- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.
- LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 41(4):742-6, 1977.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F. & BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Pioneira, 1974. 272p.
- MCLEAN, E.O. Aluminum. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part. 2, cap. 67, p.978-98.

- MIRANDA, L.N. & LOBATO, E. Calagem e adubação de soja nos solos de cerrado do Distrito Federal. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C., ed. A soja no Brasil. São Paulo. BANESPA/FINEP, 1981. p.529-33.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.*, 27:31-6, 1962.
- NOVAIS, R.F. Calagem e adubação da soja no Estado de Minas Gerais. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J.C., ed. A soja no Brasil. São Paulo. BANESPA/FINEP, 1981. p.514-23.
- OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.242-64.
- PAGE, E.R. Studies in soil and plant manganese. II. The relationship of soil pH to manganese availability. *Plant Soil*, 16:247-57, 1962.
- PEREIRA, J.; VIEIRA, I.F.; MORAES, E.A. & REGO, A.S. Níveis de sulfato de zinco em milho (*Zea mays* L.) em solo de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 8(7): 187-91, 1973.
- REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M. & HOEFT, R.C. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, and chlorine. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. *Soil testing and plant analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1973. p.173-200.
- SCHMID, W.E.; HAAG, H.P. & EPSTEIN, E. Absorption of zinc by excised barley roots. *Physiol Plant.*, 18: 860-69, 1965.
- SMALL, H.G. & OHLROGGE, A.J. Plant analysis as an aid in fertilizing soybeans and peanuts. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. *Soil testing and plant analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1973. p.315-28.
- SMITH, F.W. Mineral nutrition of legumes. In: VINCENT, J.M. *Nitrogen fixation in legumes*. Sydney, University of Sydney, 1982. p.155-72.
- SOUSA, D.M.G. de.; MIRANDA, L.N. de.; LOBATO, E. & KLIEMAN, H.J. Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos de cerrado de Goiás e do Distrito Federal. *R. bras. Ci. Solo*, 4: 144-8, 1980.
- STEVENSON, F.J. Organic matter reactions involving metal ions in soil. In: _____ . *Humus chemistry*. New York, John Wiley & Sons, 1982. p.337-52.
- TABATABAI, M.A. & BREMNER, J.M. Distribution of total and available sulfur in selected soils and profiles. *Agron. J.*, 64:40-4, 1972.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Análise foliar: amostragem e interpretação. Campinas, Fundação Cargil, 1983. 18p.