

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE COBRE E AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE PARA A SOJA NUM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO FRANCO-ARGILO-ARENOSO FASE CERRADO⁽¹⁾

E. Z. GALRÃO⁽²⁾

RESUMO

Realizou-se, em Planaltina (DF), nos anos agrícolas 1995/96, 1996/97 e 1997/98, um experimento num Latossolo Vermelho-Amarelo franco-argilo-arenoso, para comparar o efeito de três métodos de aplicação de cobre (ao solo, em pulverização foliar e à semente) sobre a produção de soja (cv. Doko RC) e estabelecer níveis críticos para os teores de cobre no solo e na folha. No primeiro cultivo, não houve diferença significativa entre os tratamentos provavelmente pela ocorrência de déficit hídrico (veranico) na fase de enchimento de grãos. No segundo e no terceiro cultivo, as doses de 1,2 e 2,4 kg ha⁻¹ de cobre aplicadas a lanço apenas por ocasião do primeiro cultivo ou no sulco de semeadura parceladamente, ou seja, 0,4 e 0,8 kg ha⁻¹ de cobre por cultivo, respectivamente, propiciaram rendimentos máximos de grãos. A dose de 2,4 kg ha⁻¹ de cobre misturada às sementes e a dose de 0,6 kg ha⁻¹ de cobre aplicada nas folhas vinte dias após a emergência também tiveram rendimentos máximos de grãos no segundo e no terceiro cultivo. Os níveis críticos de cobre no solo para os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3, foram de 0,6, 0,5, 0,5 e 0,6 mg dm⁻³ de cobre, respectivamente. O nível crítico de cobre na folha foi de 3,9 mg kg⁻¹.

Termos de indexação: *Glycine max* (L.) Merr., localização do cobre, adubação foliar, tratamento de semente, extratores, nível crítico.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 1998 e aprovado em janeiro de 1999.

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Embrapa Cerrados. Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF). E-mail:eneas@cpac.embrapa.br.

SUMMARY: *METHODS OF COPPER APPLICATION AND EVALUATION OF ITS AVAILABILITY FOR SOYBEAN GROWN ON A CERRADO RED-YELLOW LATOSOL*

A field experiment was carried out on a clay-sand-loamy Red-Yellow Latosol (Typic Acrustox) in Planaltina, Federal District, Brazil, during the cropping seasons of 1995/96, 1996/97 and 1997/98, to compare the effect of three methods of copper application (soil, foliar spray and seed treatment) on soybean (cv. Doko RC) grain yield and to determine the soil and leaf critical levels of that nutrient. There were no significant differences among the treatments in the first crop, probably due to a dry spell during the grain filling pod stage. In the second and third crops, 1.2 and 2.4 kg ha⁻¹ of copper, either broadcasted, in the first crop, or in the row, i.e. 0.4 and 0.8 kg ha⁻¹ per crop, gave maximum grain yields. The level of 2.4 kg ha⁻¹ of copper mixed with the seeds and the level of 0.6 kg ha⁻¹ of copper sprayed on the leaves, twenty days after emergence, also gave maximum grain yields in the second and third crops. The soil critical levels determined by the 0.1 mol L⁻¹ HCl, Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA pH 7,3 extracting solutions were 0.6, 0.5, 0.5 and 0.6 mg dm⁻³ of copper, respectively. The critical leaf copper concentration was 3.9 mg kg⁻¹.

Index terms: Glycine max (L.) Merr., copper placement, foliar spray, seed treatment, extractant solutions, critical level.

INTRODUÇÃO

Nos poucos trabalhos que avaliaram o efeito da aplicação do cobre no rendimento de grãos da soja em solos de cerrado (Mascarenhas et al., 1967; Mascarenhas et al., 1973; Galvão, 1984; Buzetti et al., 1989; Galvão, 1991), apenas neste último, observaram-se aumentos que variaram de 13,4 a 22,2%. No exterior, o número de trabalhos que avaliaram o efeito da aplicação de cobre no rendimento de grãos de soja também é reduzido (Sims & Johnson, 1991). Assim, Robertson et al. (1973) obtiveram aumentos que variaram de 13 a 23% e Makarim & Cox (1983) constataram, em dois locais, aumentos de 14 e 10%. Na literatura consultada não se encontrou trabalho que avaliasse o efeito de métodos de aplicação de cobre no rendimento de grãos da soja. No entanto, tem-se recomendado aos produtores aplicá-lo no solo, apesar de não se saber a melhor maneira de fazê-lo, se a lançar ou no sulco de semeadura. Aplicações via foliar e, principalmente na semente, raramente são recomendadas em razão da falta de resultados experimentais.

Quanto aos extratores para estimar a disponibilidade do cobre, os mais usados em estudos no exterior têm sido o HCl 0,1 mol L⁻¹, o Mehlich-1, o Mehlich-3 e o DTPA (Sims & Johnson, 1991) e, no Brasil, além desses, o Na₂EDTA (Bataglia & Raij, 1989; Abreu et al., 1996). Por outro lado, inexistem trabalhos de calibração de extratores de cobre em solos de cerrado para a cultura da soja.

Os objetivos do presente trabalho foram comparar métodos de aplicação de cobre para o cultivo da soja num solo de cerrado e determinar os níveis críticos de cobre no solo para os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA e o nível crítico de cobre na folha.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado num Latossolo Vermelho-Amarelo franco-argilo-arenoso fase Cerrado (Brasil, 1966) do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, da Embrapa Cerrados, Planaltina, (DF), de setembro de 1995 a maio de 1998. No início, a análise do solo (0-20 cm) indicou 15 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 4,6 (1:2,5); pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ de 3,8 (1:2,5); 5 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 79% de saturação por Al³⁺; 0,9 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ + Mg²⁺; 0,4 mmol_c dm⁻³ de K⁺; 51 mmol_c dm⁻³ de H + Al; 52,3 mmol_c dm⁻³ de CTC; 2,5% de saturação por bases; 0,6 mg dm⁻³ de P; 58 mg dm⁻³ de Fe; 0,8 mg dm⁻³ de Mn; 0,2 mg dm⁻³ de Zn; 0,1 mg dm⁻³ de Cu; 230 g kg⁻¹ de argila; 40 g kg⁻¹ de silte; 590 g kg⁻¹ de areia fina, e 140 g kg⁻¹ de areia grossa. As determinações de pH, Al³⁺, Ca²⁺ + Mg²⁺, P e K⁺ foram feitas conforme EMBRAPA (1979) e a de H + Al, segundo Sousa et al. (1989). Os teores de Fe, Mn, Zn e Cu foram extraídos pela solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), na relação solo:solução de 1:10, com cinco minutos de agitação, e determinados

por espectrofotometria de absorção atômica. A matéria orgânica foi determinada conforme Jackson (1964), e a análise granulométrica, de acordo com EMBRAPA (1979).

Foram realizados três cultivos com soja (cv. Doko RC) nas estações chuvosas dos anos de 1995/96, 1996/97 e 1997/98. O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos são apresentados no quadro 1. As aplicações a lanço (tratamentos 2 a 5) foram feitas apenas por ocasião do primeiro cultivo. Nos tratamentos 6 e 7, foram aplicados, respectivamente, 0,4 e 0,8 kg ha⁻¹ de Cu no sulco de semeadura, por cultivo. No tratamento 8, foi aplicada uma solução de sulfato de cobre a 5 g L⁻¹ vinte dias após a emergência e, no tratamento 9, foi aplicada essa mesma solução aos 20 e aos 40 dias após a emergência. No tratamento 10, aplicaram-se às sementes a dose de 798 g kg⁻¹ de Cu, na forma de CuO, sendo misturados às sementes umedecidas (20 mL kg⁻¹ de água). Com exceção do tratamento 10, nos demais, a fonte de cobre usada foi o sulfato de cobre pentaidratado (250 g kg⁻¹ de Cu).

Antes da instalação do experimento, fez-se a limpeza da área seguida de aração, catação de raízes e gradagem. Após, aplicaram-se 3.881 kg ha⁻¹ de calcário, para elevar a saturação por bases a 50%, conforme Quaggio & Raij (1996); sendo, metade da dose incorporada mediante aração e a outra metade, por meio da gradagem. Usou-se calcário com 12,8 mol_c kg⁻¹ de poder de neutralização efetivo, 229 g kg⁻¹ de Ca e 72 g kg⁻¹ de Mg. Após 11 meses, aplicaram-se, a lanço, em toda a área experimental, 1.031 kg de gesso; 240 kg de P₂O₅ (superfosfato triplo); 100 kg de K₂O (cloreto de potássio), e uma

mistura composta de 469 kg de gesso; 2 kg de B (bórax); 6 kg de Zn (sulfato); 3 kg de Mn (sulfato); 0,25 kg de Mo (molibdato de amônio), e 0,3 kg de Co (cloreto) por hectare. Nos tratamentos 2 a 5 nos quais o cobre foi aplicado a lanço (Quadro 1), o sulfato de cobre fez parte dessa mistura. Os fertilizantes foram incorporados ao solo mediante grade aradora. Nos tratamentos 6 e 7 que receberam cobre no sulco de semeadura, aplicaram-se 1.000 mL de solução de sulfato de cobre a cada sulco de 8 m, com auxílio de garrafa de plástico com tampa perfurada. Na semeadura, aplicaram-se, no sulco, 500 kg ha⁻¹ da fórmula 0-20-20, por cultivo. As parcelas foram separadas entre si por 2,0 m entre as cabeceiras e por 1,0 m lateralmente.

A soja foi semeada com auxílio de uma plantadeira manual "planet-junior", em 30 parcelas constituídas de oito linhas com 8 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, a uma densidade aproximada de 30 sementes por metro de sulco, deixando-se 20 plantas após o desbaste. As sementes foram tratadas com inoculante de turfa produzido no laboratório de Microbiologia do CPAC, na dose de 1,0 kg por 40 kg de sementes, contendo as estirpes CPAC 7 e CPAC 15. No tratamento 10, aplicou-se, primeiramente, o óxido de cobre às sementes umedecidas e, a seguir, procedeu-se à inoculação das sementes com rizóbio.

No florescimento, coletaram-se, aleatoriamente, folhas de cinquenta plantas por parcela, retirando-se a terceira folha, com pecíolo, a partir do ápice (Trani et al., 1983) para análise química. As amostras foram secas em estufa a 65°C por 72 h e moídas. Na determinação do Cu, a digestão das amostras foi feita por via úmida com ácido nítrico e ácido perclórico,

Quadro 1. Rendimento de grãos de soja (cv. Doko RC) corrigido para 0,13 kg kg⁻¹ de umidade, cultivada em um Latossolo Vermelho-Amarelo fase Cerrado, em função de métodos de aplicação de cobre

Tratamento	Cultivo ⁽¹⁾		
	1º	2º	3º
	t ha ⁻¹		
1. 0,0 kg ha ⁻¹ de cobre	2,32 a	2,94 c	2,57 b
2. 0,4 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	2,30 a	3,05 bc	2,67 b
3. 1,2 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	2,31 a	3,44 a	3,22 a
4. 2,4 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	2,36 a	3,39 ab	3,13 a
5. 4,8 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	2,30 a	3,41 ab	3,10 a
6. 1,2 (3 x 0,4) kg ha ⁻¹ de cobre (sulco)	2,33 a	3,43 ab	3,19 a
7. 2,4 (3 x 0,8) kg ha ⁻¹ de cobre (sulco)	2,32 a	3,34 ab	3,20 a
8. Foliar (20 DAE) ⁽²⁾	2,30 a	3,31 ab	3,22 a
9. Foliar (20 + 40 DAE)	2,40 a	3,39 ab	3,11 a
10. Semente	2,25 a	3,38 ab	3,14 a
C.V. (%)	5,9	8,9	7,7

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não foram estatisticamente diferentes entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

⁽²⁾DAE = dias após a emergência das plantas.

sendo sua concentração determinada por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1989).

Para avaliar a produção foram colhidas as quatro fileiras centrais de cada parcela, deixando-se 1 m nas extremidades como bordadura, sendo a área útil de cada parcela de 12 m² (2 x 6 m). As plantas foram cortadas rente ao solo e, após a separação dos grãos, o restante da parte aérea foi descartado. Uma semana antes do segundo e do terceiro cultivo, efetuou-se a amostragem do solo (0-20 cm de profundidade), coletando-se ao acaso 20 subamostras por parcela para formar uma amostra composta. Nessas amostras compostas, foram determinados pH (água), pH (CaCl₂), Al³⁺, Ca²⁺ + Mg²⁺, K⁺, H + Al, P, Fe, Mn e Zn conforme métodos referido anteriormente. Na determinação do Cu os extratores utilizados: DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético), na relação solo:solução de 1:2, com duas horas de agitação (Lindsay & Norvell, 1978); Mehlich-3 (CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹ + NH₄F 0,015 mol L⁻¹ + HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹) (Mehlich, 1984); HCl 0,1 mol L⁻¹ e Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), na relação solo:solução de 1:10 e cinco minutos de agitação. A determinação do Cu nos extratos das quatro soluções foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica. Os níveis críticos de Cu no solo foram estimados empregando-se as equações de Mitscherlich ajustadas para o rendimento relativo de grãos em função dos teores de cobre no solo, obtidos pelos diferentes extratores, com o auxílio do Statistical Analysis System (SAS, 1989). Consideraram-se como níveis críticos os teores de Cu no solo correspondentes a 95% do rendimento máximo de grãos. Para determinar o nível crítico de Cu na folha, foi usado o critério de Cate Jr. & Nelson (1965). Os dados foram submetidos à análise de variância, e a comparação entre as médias foi feita pelo teste de Duncan, a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro cultivo, o déficit hídrico devido ao veranico ocorrido na fase de enchimento de grãos foi responsável, provavelmente, pela ausência de diferença significativa entre os tratamentos, visto que a média de rendimento de grãos dos tratamentos foi de 2,32 t ha⁻¹, enquanto, no segundo e no terceiro cultivo, foi de 3,30 e 3,05 t ha⁻¹ de grãos, respectivamente (Quadro 1). No segundo e no terceiro cultivo, com exceção do tratamento que recebeu 0,4 kg ha⁻¹ de cobre a lanço por ocasião do primeiro cultivo, os demais diferiram significativamente da testemunha, mas não entre si. A média deles foi de 3,38 e 3,16 t ha⁻¹ de grãos, ou seja, 0,44 e 0,59 t ha⁻¹ a mais em relação à testemunha, no segundo e no terceiro cultivo, respectivamente.

Nos poucos trabalhos realizados em solos de cerrado (Mascarenhas et al., 1967; Mascarenhas et al., 1973; Galrão, 1984; Buzetti et al., 1989; Galrão, 1991), apenas neste último observou-se resposta da soja ao cobre, ou seja, em quatro cultivos sucessivos, a dose de 2,0 kg ha⁻¹ de cobre, aplicada a lanço, na forma de sulfato, apenas por ocasião do primeiro cultivo, proporcionou aumento médio em relação à testemunha de 0,49 t ha⁻¹ de grãos, nos três últimos cultivos.

No exterior, são bastante raros trabalhos que avaliaram resposta da soja à aplicação de cobre (Sims & Johnson, 1991). Assim, Makarim & Cox (1983) constataram que, de cinco locais, apenas dois revelaram resposta da soja à aplicação de 2,2 kg ha⁻¹ de cobre a lanço, com aumentos de 14 e 10% no rendimento de grãos. Robertson et al. (1973) obtiveram com a adição de 2,8 kg ha⁻¹ de cobre no sulco de semeadura aumento de 180 kg ha⁻¹ de grãos de soja.

No segundo e no terceiro cultivo, não houve diferença significativa no rendimento de grãos entre as formas de aplicação das doses de 1,2 e 2,4 kg ha⁻¹ de cobre: a lanço (tratamentos 3 e 4), apenas no primeiro cultivo, ou no sulco parceladamente (tratamento 6 e 7). O uso da grade aradora antes da semeadura uniformizou a adubação com cobre, fazendo com que maior volume de solo fosse fertilizado com esse nutriente. A aplicação de cobre nas sementes produziu acréscimos em relação à testemunha de 0,44 e 0,57 t ha⁻¹ de grãos, respectivamente, no segundo e no terceiro cultivo. Uma provável causa desse efeito foi porque parte do cobre nelas aplicado (2,4 kg ha⁻¹ de cobre por cultivo) permaneceu no solo após o desbaste, beneficiando as plantas do cultivo subsequente. De fato, houve aumentos nos teores de cobre determinados pelos extratores, principalmente antes do terceiro cultivo (Quadro 2). Os tratamentos 8 e 9, que receberam cobre via foliar, não diferiram significativamente entre si no segundo e no terceiro cultivo. Portanto, uma única aplicação (tratamento 8), aos 20 dias da emergência, foi suficiente para a obtenção de rendimento máximo de grãos. Foram gastos, em médias nos três cultivos, 490 L ha⁻¹ de solução de sulfato de cobre a 5 g L⁻¹, o que correspondeu a 0,6 kg ha⁻¹ de cobre por cultivo. Na literatura consultada, não se encontrou trabalho que comparasse métodos de aplicação de cobre para o cultivo da soja, o que limitou a discussão dos dados ora obtidos.

Os coeficientes de variação dos teores de cobre do solo determinados pelos quatro extratores foram elevados (Quadro 2). Parte desse resultado deveu-se à grande variabilidade nos teores de cobre das amostras de solo das parcelas nas quais esse nutriente foi aplicado no sulco de semeadura. Quando foram considerados apenas os tratamentos nos quais o cobre foi aplicado a lanço, os coeficientes de variação para o segundo e terceiro cultivo foram, respectivamente, de 29 e 24% (HCl), 37 e 30%

Quadro 2. Teores de cobre extraídos de um Latossolo Vermelho-Amarelo fase Cerrado por quatro extratores antes do segundo e do terceiro cultivos de soja (cv. Doko RC) e teores foliares de cobre, em função de métodos de aplicação de cobre

Tratamento	Cu no solo ⁽¹⁾									
	HCl 0,1 mol L ⁻¹		Mehlich-1		Mehlich-3		DTPA		Cu na folha	
	2 ^o	3 ^o	2 ^o	3 ^o	2 ^o	3 ^o	2 ^o	3 ^o	2 ^o	3 ^o
	mg dm ⁻³									
1. 0,0 kg ha ⁻¹ de cobre	0,3 c	0,1 c	0,2 b	0,1 d	0,2 bc	0,2 c	0,2 b	0,3 f	1,9 c	2,3 b
2. 0,4 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	0,6 bc	0,2 c	0,4 b	0,2 d	0,4 abc	0,3 bc	0,4 ab	0,4 ef	2,8 b	3,9 ab
3. 1,2 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	0,7 b	0,4 bc	0,7 b	0,5 bc	0,6 abc	0,5 bc	0,4 ab	0,6 cde	4,5 a	4,2 a
4. 2,4 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	0,8 b	0,8 b	1,3 a	0,7 b	0,9 ab	0,7 b	0,5 ab	0,7 cd	3,9 a	5,7 a
5. 4,8 kg ha ⁻¹ de cobre (lanço)	1,2 a	1,5 a	1,7 a	1,2 a	1,0 a	1,6 a	0,7 a	1,9 a	4,0 a	5,5 a
6. 1,2 (3x0,4) kg ha ⁻¹ de cobre (sulco)	0,6 bc	0,4 bc	0,3 b	0,2 d	0,3 bc	0,3 bc	0,3 ab	0,5 def	4,3 a	4,8 a
7. 2,4 (3x08) kg ha ⁻¹ de cobre (sulco)	0,8 b	0,4 bc	0,3 b	0,2 d	0,7 abc	0,6 bc	0,5 ab	0,8 c	3,9 a	4,9 a
8. Foliar (20 DAE) ⁽²⁾	0,7 bc	0,3 bc	0,3 b	0,3 cd	0,6 abc	0,5 bc	0,5 ab	0,4 ef	4,3 a	5,0 a
9. Foliar (20 + 40 DAE)	0,5 bc	0,4 bc	0,3 b	0,3 cd	0,1 c	0,5 bc	0,2 b	0,7 cdf	4,3 a	5,3 a
10. Semente	0,6 bc	1,9 a	0,5 b	0,8 b	0,3 bc	1,6 a	0,3 ab	1,6 b	4,0 a	5,5 a
C.V. (%)	37	46	45	36	64	31	62	28	12	20

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Duncan a 5%.

⁽²⁾DAE = dias após a emergência das plantas.

(Mehlich-1), 21 e 20% (Mehlich-3) e 33 e 13% (DTPA), ou seja, mais baixos do que quando foram considerados todos os tratamentos. Os coeficientes de variação do terceiro cultivo foram, em geral, menores do que os do segundo, o que pode ser atribuído a melhor homogeneização do Cu na massa do solo, nas parcelas que o receberam no sulco (devido ao preparo do solo). No segundo cultivo, os coeficientes de variação para os extratores Mehlich-3 e DTPA foram mais elevados do que os do HCl e Mehlich-1. Não se encontrou nenhuma explicação para esse resultado. Os teores de cobre do solo dos tratamentos nos quais esse nutriente foi aplicado via foliar foram, em geral, mais elevados do que os da testemunha. Uma possível explicação é que parte do cobre aplicada nas folhas atingiu o solo e, ou, a adição do cobre ao solo por meio da incorporação das folhas após a colheita, pois as quantidades de cobre aplicadas via foliar nos tratamentos 8 e 9 foram, respectivamente, de 0,6 e 1,2 kg ha⁻¹ de cobre por cultivo.

O nível crítico de cobre para a soja em solos de cerrado ainda não foi definido. Para Lopes & Carvalho (1988), de 0,5 a 0,8 mg dm⁻³ de Cu (Mehlich-1) constitui a faixa crítica desse nutriente para esses solos. Os teores de cobre (Mehlich-1) da testemunha estão abaixo do limite inferior dessa faixa crítica (Quadro 2). Portanto, a resposta da soja a esse nutriente foi devida ao seu baixo teor no solo. Ao mesmo tempo, os teores de cobre da folha das plantas no tratamento testemunha também foram menores (Quadro 2), refletindo a sua deficiência no solo.

Considerando apenas os tratamentos que receberam cobre a lanço (tratamentos 2 a 5), os níveis críticos estimados foram de 0,6, 0,5, 0,5 e 0,6 mg dm⁻³ de Cu, respectivamente, para HCl, Mehlich-1,

Quadro 3. Equações de regressão linear e coeficientes de correlação (r) entre os teores de cobre extraídos do Latossolo Vermelho-Amarelo fase Cerrado, pelos quatro extratores, antes do segundo e do terceiro cultivo da soja (cv. Doko RC), dos tratamentos nos quais esse nutriente foi aplicado a lanço apenas por ocasião do primeiro cultivo⁽¹⁾

Y = Cu - solo	A	B Cu - solo	r
2^o Cultivo			
Cu - HCl	0,29	0,49 Cu - Mehlich-1	0,93*
Cu - HCl	0,15	0,91 Cu - Mehlich-3	0,92*
Cu - HCl	-0,06	1,78 Cu - DTPA	0,98**
Cu - Mehlich-1	-0,28	1,83 Cu - Mehlich-3	0,97**
Cu - Mehlich-1	-0,56	3,24 Cu - DTPA	0,92*
Cu - Mehlich-3	-0,13	1,71 Cu - DTPA	0,91*
3^o Cultivo			
Cu - HCl	-0,09	1,28 Cu - Mehlich-1	0,97**
Cu - HCl	-0,06	1,00 Cu - Mehlich-3	0,97**
Cu - HCl	-0,06	0,85 Cu - DTPA	0,95*
Cu - Mehlich-1	0,03	0,76 Cu - Mehlich-3	0,96**
Cu - Mehlich-1	0,03	0,64 Cu - DTPA	0,93*
Cu - Mehlich-3	-0,01	0,86 Cu - DTPA	0,98**

⁽¹⁾A equação completa é dada por Y = A + BX, em que Y e X são os teores de cobre extraídos do solo (mg dm⁻³); *, ** significativos a 5 e 1%, respectivamente.

Mehlich-3 e DTPA (Figura 1). O nível crítico determinado pelo método de Mehlich-1 ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu) está coerente com os poucos trabalhos realizados em solos de cerrado, nos quais se determinou o teor de cobre no solo. Assim, Galrão (1984) não encontrou resposta da soja à aplicação desse nutriente num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso que continha $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu (Mehlich-1). Por outro lado, Galrão (1991) observou aumento no rendimento de grãos da soja, devido à aplicação de cobre num Latossolo Vermelho-Amarelo franco-argilo-arenoso, que continha $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu (Mehlich-1).

Os altos coeficientes de correlação (r) obtidos entre os extratores (Quadro 3) revelaram que os mesmos apresentaram alta capacidade preditiva da disponibilidade de cobre do solo para a soja. Resultados semelhantes foram encontrados entre os extratores HCl, Mehlich-1 e DTPA por Bataglia & Raij (1989), na avaliação da disponibilidade de cobre de 26 solos.

O nível crítico de cobre na folha foi de $3,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 2), estando abaixo do limite inferior das faixas de suficiência de 10 a 30 mg kg^{-1} (Malavolta et al., 1989) e de 5 a 20 mg kg^{-1} (Jones Jr., 1973) e do nível crítico de $6,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Makarim & Cox, 1983), apesar de terem sido obtidos altos rendimentos de grãos (Quadro 1). Sugere-se, portanto, a realização de estudos de calibração para se definir melhor a faixa de suficiência de cobre na folha da soja.

CONCLUSÕES

1. No segundo e no terceiro cultivo, foram obtidos rendimentos máximos de grãos de soja, independentemente dos métodos usados na aplicação do cobre, ou seja, no solo (lanço e sulco), na folha e na semente.

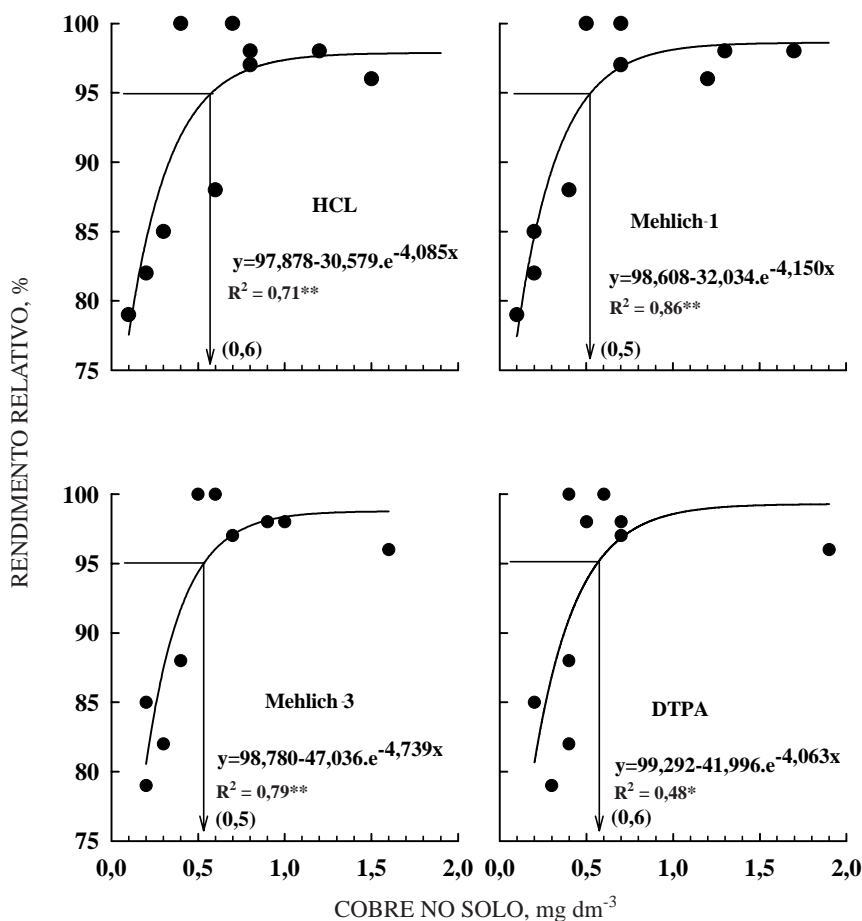


Figura 1. Relações entre rendimentos relativos de grãos a $0,13 \text{ kg kg}^{-1}$ de umidade da soja (cv. Doko RC) e teores de cobre extraídos do Latossolo Vermelho-Amarelo fase Cerrado, antes do segundo e do terceiro cultivo, por quatro extratores: HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$; Mehlich-1; Mehlich-3 e DTPA, dos tratamentos nos quais esse nutriente foi aplicado a lanço apenas por ocasião do primeiro cultivo.

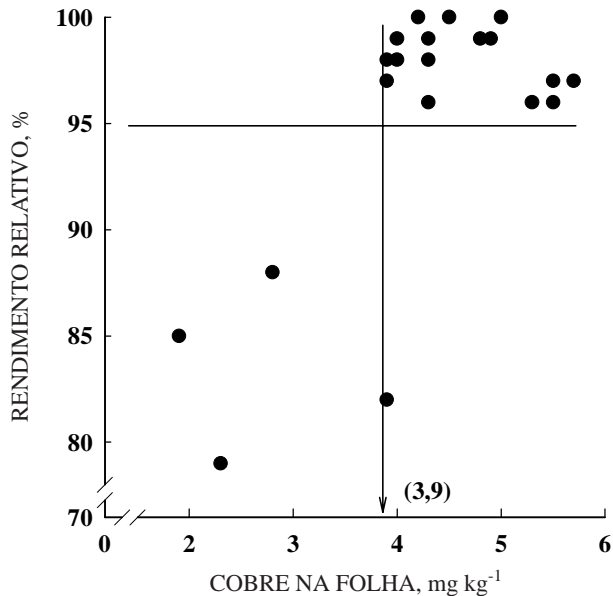


Figura 2. Relação entre rendimentos relativos de grãos a 0,13 kg kg⁻¹ de umidade da soja e teores de cobre extraídos da folha, do segundo e do terceiro cultivos, da soja (cv. Doko RC), cultivada no Latossolo Vermelho-Amarelo fase Cerrado, em função de métodos de aplicação de cobre.

2. Os níveis críticos de cobre no solo, para os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, foram de 0,6, 0,5, 0,5 e 0,6 mg dm⁻³, respectivamente, e o nível crítico de cobre na folha foi de 3,9 mg kg⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Aos Técnicos Agrícolas Carlos A. Cardoso e Deocleciano S. Lima, pelo auxílio no desenvolvimento do experimento; ao Laborista Elzino Rodrigues, pela análise de cobre no solo, e aos Pesquisadores Daniel P. Guimarães e Lourival Vilela, pelo auxílio na análise estatística e na elaboração das figuras, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- ABREU, C.A.; RAIJ, B. van.; ABREU, M.F. & ANDRADE, J.C. Efficiency of multinutrient extractants for the determination of available copper in soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27:763-771, 1996.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:205-212, 1989.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura do Distrito Federal. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1966. 135p. (Boletim técnico, 8)
- BUZETTI, S.; NAKAGAWA, J. & MURAOKA, T. Avaliação das necessidades de enxofre e de micronutrientes na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em solo sob vegetação de cerrado - II. *Científica*, 17:15-24, 1989.
- CATE Jr., R.B. & NELSON, L.A. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. Raleigh, North Carolina Agric. Exp. Sta., 1965. 13p. (International Soil Testing Series, Tech. Bull., 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1979. 73p.
- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e na composição química do arroz, milho e soja em solo de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:111-116, 1984.
- GALRÃO, E.Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:117-120, 1991.
- JACKSON, M.L. Determinaciones de materia orgánica en los suelos. In: JACKSON, M.L., ed. *Análisis químico de suelos*. Barcelona, Omega, 1964. p.282-310.
- JONES Jr., J.B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p.319-346.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:424-428, 1978.
- LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F., eds. In: *SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA*, Londrina, 1986. Anais. Londrina, EMBRAPA/CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.133-178.
- MAKARIM, A.K. & COX, F.R. Evaluation of the need for copper with several soil extractants. *Agr. J.*, 75:493-496, 1983.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.
- MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & IGUE, T. Adubação da soja. VI - Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe e Mo), em solo Latossolo Roxo com vegetação de cerrado. *Bragantia*, 26:371-379, 1967.
- MASCARENHAS, H.A.A.; KIIHL, R.A.S.; NAGAI, V. & BATAGLIA, O.C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solos de cerrado. *O Agrônomo*, 25:71-77, 1973.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, 15:1409-1416, 1984.

- QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B. van. Correção da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p.14-19 (Boletim Técnico, 100)
- ROBERTSON, W.K.; THOMPSON, L.G. & MARTIN, F.G. Manganese and copper requirements for soybeans. *Agron. J.*, 65:641-644, 1973.
- SAS. Statistical Analysis System Institute. SAS/STAT[®] User's guide, version 6, 4th ed. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1989. v.2. 1686p.
- SIMS, J.T. & JOHNSON, G.V. Micronutrients soil tests. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMN, L.M. & WELCH, R.M., eds. Micronutrients in agriculture. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1991. p.427-476.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. & CASTRO, L.H.R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:193-198, 1989.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Análise foliar: amostragem e interpretação. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 18p.