

Calagem e extratores químicos de manganês e zinco em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico cultivados com soja

Reges Heinrichs¹, Eurípedes Malavolta², Adônis Moreira³, Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo⁴, Cleusa Pereira Cabral⁵, Jonas Ruschel⁶

¹ Autor para correspondência. Unesp, Câmpus de Dracena. Rua Bahia, 332. CEP 17900-000, Dracena (SP), Brasil. reges@dracena.unesp.br

² Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Avenida Centenário, 303. Caixa Postal 96, CEP 13418-900, Piracicaba (SP), Brasil. Bolsista do CNPq. euri@cena.usp.br

³ Embrapa Amazônia Ocidental. Rodovia AM 010, Caixa Postal 319, CEP 69011-970, Manaus (AM), Brasil. Bolsista do CNPq. adonis@cpaa.embrapa.br

⁴ Unesp, Câmpus de Dracena. Rua Bahia, 332. CEP 17900-000, Dracena (SP), Brasil.

⁵ Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Avenida Centenário, 303. Caixa Postal 96, CEP 13418-900, Piracicaba (SP), Brasil. cpcabral@cena.usp.br

⁶ Engenheiro Agrônomo, Dr. Rua 2, Chácara 568, Lago Oeste, Sobradinho (DF), Brasil. Jonas_ruschel@yahoo.com.br

Resumo

Os micronutrientes, embora tendo uma amplitude muito reduzida entre os teores deficientes, adequados ou tóxicos, são responsáveis por reduções significativas na produtividade das culturas. Torna-se importante o estudo de extratores que estimem sua disponibilidade e sua aplicação segura, para que se definam os métodos de análise de solo confiáveis, possibilitando uma eficiente diagnose nutricional. Entre eles, o manganês e o zinco são os que mais frequentemente apresentam problemas em solos sob condições de cerrado. Com o objetivo de avaliar extratores que melhor representam a disponibilidade de Mn e Zn para cultura da soja, cultivada em solos sob vegetação de cerrado e submetidos à calagem com várias relações de Ca e Mg, foi instalado um experimento em casa de vegetação com os solos Latossolo Vermelho típico fase cerrado (LV) e Neossolo Quartzarênico (NQ), usando-se, como planta-teste, dois cultivares de soja (IAC 15-1 e IAC 17). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. A saturação por bases foi elevada a 60% mediante adição de CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (3:1) ou $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (1:1). As doses de Mn e Zn foram 25 e 5 mg dm^{-3} para LV e 10 e 3 mg dm^{-3} para NQ, respectivamente. No solo, o teor de Mn foi fracionado nas formas trocáveis (Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA), solúvel em água, facilmente redutível e total; o Zn foi determinado pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA. Analisando-se os resultados, verificou-se que os teores de Mn e Zn no solo apresentaram alta correlação entre os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA; os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA apresentaram correlações positivas e significativas com os teores de manganês e zinco encontrados nas folhas usadas para diagnose, exceto no Neossolo Quartzarênico, em que o Mn extraído apresentou significância somente em Mehlich 3, para o cultivar IAC 17.

Palavras-chave adicionais: cerrado; *Glycine max*; fertilidade do solo; nutrição de plantas.

Abstract

HEINRICH, R.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P. A. M. de; CABRAL, C. P.; RUSCHEL, J. Liming and chemical extractants of manganese and zinc in cerrado Habludox and Quartzpsament planted with soybeans. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.66 - 74, 2006.

Low micronutrient levels, particularly of manganese and zinc, are frequently found to limit crop growth and yield in cerrado soils. Their availability can be further more reduced by soil liming. It is desirable therefore to ascertain chemical extractant or extractants, capable of assessing the available levels of both manganese and zinc for soybeans as influenced by lime application. A pot experiment was carried out using a Habludox (LV) and a Quartzpsament (NQ), and two soybeans cultivars (IAC 15-1 and IAC 17). Base saturation (V %) was raised to 60 by the addition of either CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (3+1) or $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (1+1). Rates of Mn and Zn were 25 and 5 mg dm^{-3} for LV and 10 and 3 for NQ, respectively. Soil Mn was evaluated as "exchangeable" (Mehlich 1, Mehlich 3 and DTPA-TEA), water soluble, easily reducible and total; Zn was determined after extraction with Mehlich 1, Mehlich 3 and DTPA-TEA. There was a high correlation, both for Mn and Zn, among the three extracting solution. Significant and positive correlations were also found between the values given by these extractants and leaf Mn and Zn levels, although in the NQ soil only the Mn extracted by Mehlich 3 correlated positive and significantly with the level of Mn found in the leaves of the IAC 17 cultivar.

Additional keywords: cerrado; *Glycine max*; plant nutrition; soil fertility.

Introdução

No cerrado, os Latossolos ocupam 56% da área total, seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos, com cerca de 20% (LOPES, 1983), o que corresponde a 76% da área ocupada por vegetação de cerrado.

Os micronutrientes, por terem uma amplitude muito reduzida entre os teores adequados e deficientes ou tóxicos (OLIVEIRA JÚNIOR, 1996), são responsáveis por reduções significativas na produtividade de culturas. Assim, torna-se importante o estudo de extratores que estimem sua disponibilidade e sua aplicação segura, para que se definam os métodos de análise de solo confiáveis, possibilitando uma eficiente diagnose nutricional, principalmente de manganês e de zinco, que mais freqüentemente apresentam problemas em solos sob condições de cerrado.

Nesse contexto, a recomendação dos micronutrientes não pode ser realizada de forma indiscriminada, com a finalidade de evitar gastos desnecessários, com possíveis efeitos tóxicos por excesso ou deficiência, pela subdosagem (BATAGLIA & RAIJ, 1989).

O extrator DTPA-TEA (pH 7,0) apresenta a capacidade de discriminar o efeito do pH sobre a disponibilidade de nutrientes, o que não pode ser observado pelos extratores ácidos (CAMARGO et al., 1982). O extrator de duplo ácido (Mehlich 1 ou Carolina do Norte) é o mais utilizado no Brasil, recomendado para solos com predominância de caulinita na fração argila, de baixa capacidade de troca de cátions e baixo pH (KAMPRATH & WATSON, 1980). Outro método é Mehlich 3, extrator ácido pouco utilizado no Brasil, considerado, no entanto, como um dos procedimentos mais apropriados e econômicos para análise do solo em laboratório, por sua capacidade de extrair do solo, simultaneamente: P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Na e Zn (TRAN et al., 1990).

A adição de calcário ao solo auxilia a oxidação do Mn^{+2} , considerado trocável em maiores valências, podendo induzir a uma precipitação ou à formação de óxido de Mn, indisponíveis à planta. REISENAUER (1988) relatou que a disponibilidade do Mn não é controlada somente pelas características do solo ou da planta, mas também pelas condições existente no sistema solo-planta. A solubilidade do Mn no solo é influenciada pelo potencial de oxi-redução do solo, pelo pH e pela formação de complexos (TISDALE et al., 1985; MACHADO & PAVAN, 1987). Por outro lado, a disponibilidade ou a absorção é afetada por desbalanço de íons de metais pesados (cobre, ferro, zinco), excesso de água e baixa aeração, matéria orgânica, interação com outros nutrientes, efeito estacional e climático, microrganismos do solo e, ainda, os carbonatos (MENGEL & KIRKBY, 2001). Segundo ROSOLEM &

NAKAGAWA (1990) e OLIVEIRA JÚNIOR (1996), a recomendação de calagem para resolver o problema de toxicidade de Mn tem induzido o aparecimento da carência deste elemento, principalmente quando são utilizadas altas doses.

Por sua vez, o Zn apresenta semelhança do seu raio iônico com o do Fe^{2+} e do Mg^{2+} (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2000), podendo ocorrer substituição isomórfica dos silicatos em augita, hornblenda e biotita (MENGEL & KIRKBY, 2001). A solubilidade e a conseqüente disponibilidade do Zn aumentam com a diminuição do pH do solo. Em solos sob vegetação de cerrado, o baixo teor de Zn tem sido limitante para as plantas (SOUZA & FERREIRA, 1991).

O equilíbrio nutricional é fundamental para o desenvolvimento adequado das plantas. KABATA-PENDIAS & PENDIAS (2000) descreveram que as interações entre os nutrientes podem ocorrer de formas variáveis, seja no interior das células, dentro das membranas, seja na superfície das raízes das plantas. MARSCHNER (1995) relatou que a absorção de nutrientes pela planta depende de diversos fatores, entre os quais, a interação entre eles, que determina ações antagônicas ou sinérgicas, que variam em função das proporções dos elementos, das espécies, dos cultivares e do estágio de desenvolvimento da planta.

Estudos realizados por KUMAR et al. (1981) evidenciaram diminuição nos teores de Mn e Zn quando foram utilizadas altas doses de Mg no cultivo do trigo. Resultados semelhantes foram obtidos por BOARO et al. (1999), no feijoeiro, e por MOREIRA (1999), na soja, ao estudarem a interação entre magnésio e micronutrientes metálicos.

Este trabalho tem por objetivo avaliar extratores que melhor representem a disponibilidade de Mn e Zn para a cultura da soja, cultivada em solos sob vegetação de cerrado e submetidos à calagem com várias relações de Ca e Mg.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena/USP), Piracicaba (SP), em vasos de barro com capacidade para dois litros, nos quais foram acondicionados 1,5 dm³ de terra. Os cultivares de soja foram IAC 15-1 (precoce) e IAC 17 (superprecoce).

Dois solos não cultivados anteriormente e originalmente deficientes em Mn e Zn foram utilizados: Latossolo Vermelho distrófico típico fase cerrado, do município de Uberlândia (MG), localizado a 18° 55' de latitude sul e 48° 17' de longitude oeste; Neossolo Quartzarênico, coletado no município de Brotas (SP), localizado a 22° 17' de latitude sul e 48° 07' de longitude oeste. A coleta foi realizada na profundidade

de 0-20 cm, formando-se uma amostra composta, destorroada, homogeneizada, seca ao ar e passada em peneira com malha de 2,0 mm de abertura. Os resultados das análises químicas (0 – 20 cm) foram os seguintes: Latossolo Vermelho – pH (CaCl_2 0,1 M), 4,2; M.O., 28 g dm^{-3} ; P (resina), 4 mg dm^{-3} ; S- SO_4 , 11 mg dm^{-3} ; K (resina), 1,1 mmol_c dm^{-3} ; Ca (resina), 11 mmol_c dm^{-3} ; Mg (resina), 3 mmol_c dm^{-3} ; Al, 6 mmol_c dm^{-3} ; H, 52 mmol_c dm^{-3} ; S, 15,1 mmol_c dm^{-3} ; T, 73,1 mmol_c dm^{-3} ; V, 21%; B (água quente), 0,25 mg dm^{-3} ; Cu (DTPA), 0,8 mg dm^{-3} ; Fe (DTPA), 75 mg dm^{-3} ; Mn (DTPA), 1,2 mg dm^{-3} ; Zn (DTPA), 0,3 mg dm^{-3} ; Neossolo Quartzarênico – pH (CaCl_2 0,1 M), 3,9; M.O., 13 g dm^{-3} ; P (resina), 3 mg dm^{-3} ; S- SO_4 , 2 mg dm^{-3} ; K (resina), 0,5 mmol_c dm^{-3} ; Ca (resina), 1 mmol_c dm^{-3} ; Mg (resina), 1 mmol_c dm^{-3} ; Al, 7 mmol_c dm^{-3} ; H, 18 mmol_c dm^{-3} ; S, 2,5 mmol_c dm^{-3} ; T, 27,5 mmol_c dm^{-3} ; V, 9%; B (água quente), 0,17 mg dm^{-3} ; Cu (DTPA), 0,4 mg dm^{-3} ; Fe (DTPA), 54 mg dm^{-3} ; Mn (DTPA), 2,3 mg dm^{-3} ; Zn (DTPA), 0,3 mg dm^{-3} .

A saturação por bases foi elevada a 60% mediante adição de CaCO_3 , CaCO_3 + MgCO_3 (3:1) ou CaCO_3 + MgCO_3 (1:1). Cada solo ficou incubado com os carbonatos por um mês, mantendo-se a umidade em 60 % da capacidade de campo.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação ou omissão de Mn ou Zn, para cada uma das três relações de carbonatos usados para a elevação da saturação por bases. As doses de Mn e Zn foram 25 e 5 mg dm^{-3} para LV, e 10 e 3 mg dm^{-3} para NQ, respectivamente.

A determinação de Mn e Zn foi feita em Mehlich 1 (1:5) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), Mehlich 3 (1:5) (MEHLICH, 1984) e DTPA-TEA (1:2) (LINDSAY & NORWELL, 1978). O Mn no solo ainda foi fracionado nas formas solúvel em água (1:5), facilmente redutível (1:5) (CAMARGO et al. 1986) e total, pelo método do ácido nítrico e ácido perclórico (1:5) (HESSE, 1972). As determinações dos teores foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2001).

As sementes foram tratadas em solução de hipoclorito de sódio (10%), por 5 minutos. Em seguida, foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* Semia 587 e 5019, utilizando-se de 10 g kg^{-1} de sementes. Posteriormente, adicionou-se um produto contendo Ca (1%), S (1%), Co (1%), Fe (0,2%) e Mo (10%), na dose de 3 g kg^{-1} de sementes. Foram semeadas 10 sementes por vaso e, quando as plantas atingiram o estágio V1 (primeiro trifólio), realizou-se o desbaste, deixando-se duas plantas uniformes. No estágio R1 (FEHR et al., 1971), foram coletados o terceiro e o quarto trifólios a partir do ápice, excluindo o pecíolo,

para diagnose foliar (MALAVOLTA et al., 1997). No estágio R7, os grãos foram colhidos e, depois de secos em estufa de circulação forçada a 70 °C até atingir peso constante, foi determinada a sua massa. No segundo cultivo, o tratamento, a inoculação das sementes e as determinações foram os mesmos do primeiro.

Os resultados das análises de solo e de plantas foram avaliados estatisticamente, mediante análise da variância, comparação das médias pelo teste de Tukey e correlações (PIMENTEL-GOMES, 2000).

Resultados e discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os teores de manganês e zinco obtidos nos extratores Mehlich 1, Mehlich 3, DTPA-TEA e de Mn em água, facilmente redutível e total, antes e após a correção da acidez.

Os limites considerados críticos para o manganês apresentam variação em função dos extratores e, às vezes, dos autores, para mesma solução extratora, além das condições edafoclimáticas dominantes (COX, 1968; VIETS JUNIOR & LINDSAY, 1973; RAIJ et al., 1996; LOPES, 1999; RIBEIRO et al., 1999). Independentemente do autor, os teores encontrados no presente trabalho podem ser considerados baixos para o Latossolo Vermelho (LV) e médios para o Neossolo Quartzarênico (NQ). Em ambos os solos, a maior variação nos teores de Mn no solo, devida à correção da acidez, foi verificada com o extrator DTPA-TEA, seguido pelo Mehlich 1, resultado que está de acordo com o descrito por CAMARGO et al. (1982). O teor de Mn total não foi afetado pela calagem, sendo tal interferência esperada, já que ocorre apenas alteração na disponibilidade, não alterando sua quantidade no sistema.

GALRÃO (1993), trabalhando em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa sob cerrado, determinou que níveis críticos de zinco em soja são 0,8 e 0,6 mg dm^{-3} para Mehlich 1 e DTPA-TEA, respectivamente. Os valores encontrados estão no limite crítico para Mehlich 1 e abaixo para DTPA-TEA, sugerindo que há carência natural do elemento em ambos os solos estudados (Tabela 1). A determinação do Zn no LV, contrariamente ao que ocorreu com Mn, apresenta maiores variações, decorrentes da correção da acidez do solo, quando do uso dos extratores Mehlich 1 e Mehlich 3, em relação ao extrator DTPA-TEA. O teor de Zn encontrado no LV antes da calagem, segundo RIBEIRO et al. (1999), é considerado alto e, após a calagem, a disponibilidade ficou em níveis baixos. No NQ, não foi observada diferença na disponibilidade do micronutriente em função da calagem em nenhum dos extratores, possivelmente pelo fato de os teores encontrados serem muito baixos.

Verifica-se que o teor de manganês extraído do solo com Mehlich 1 no Latossolo Vermelho, nos

tratamentos com aplicação do micronutriente, após dois cultivos sucessivos com soja, são considerados tóxicos, segundo interpretação de GALRÃO et al. (1993). No entanto, RIBEIRO et al. (1999) consideraram teores classificados como “bons” os valores até 12 mg dm⁻³ para o mesmo extrator. A extração de Mn pelo DTPA apresentou teores no limite superior considerado adequado (RAIJ et al. 1996).

No Neossolo Quartzarênico, independentemente do extrator (Mehlich 1, Mehlich 3 ou DTPA-TEA), os tratamentos com aplicação de somente CaCO₃ apresentaram valores de Mn no limite superior considerado adequado; entretanto, quando foi adicionado MgCO₃ na calagem, os teores extraídos diminuíram e ficaram na faixa intermediária, classificada como adequada. Com esses resultados, pode-se observar redução na disponibilidade de Mn em função da presença do íon Mg (MENGEL & KIRKBY, 2001). Nos tratamentos em que não foi aplicado o Mn, os teores no solo são considerados baixos para todos extratores do micronutriente, considerado trocável (Mehlich 1, Mehlich 3 ou DTPA).

No Neossolo Quartzarênico, os valores absolutos de Mn no solo são muito próximos entre os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA, o que não é observado no Latossolo Vermelho (Tabela 2), possivelmente pela maior concentração de argila, que torna os extratores ácidos mais eficientes (KRAMPRATH & WATSON, 1980).

A extração de Mn do solo com água apresenta valores muito baixos, o que torna muito difícil a discriminação sobre a disponibilidade, e os valores do coeficiente de variação são extremamente elevados, ficando difícil a manipulação dos dados, incorrendo facilmente em erros, por causa da pequena amplitude dos valores. Por outro lado, na extração de Mn com ácido nítrico mais perclórico (Mn-total), obtém-se o teor total do elemento, ou seja, disponível ou não. Observa-se que o Neossolo Quartzarênico apresenta concentração muito baixa de Mn total, sendo de fundamental importância suprir as necessidades da planta com a adubação do micronutriente.

O teor de Zn extraído no Latossolo Vermelho e no Neossolo Quartzarênico por Mehlich 3 e DTPA-

Tabela 1 – Teores de manganês e zinco (mg dm⁻³) extraídos em Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (NQ) antes e após a calagem.

Table 1 – Manganese and zinc levels (mg dm⁻³) extracted from Habludox (LV) and Quartzpsament (NQ) before and after liming.

Tratamentos / Treatments	Água / Water		Mehlich 1		Mehlich 3		DTPA-TEA		Facilmente redutível / Easily reducible		Total	
	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ
Mn												
Antes da calagem / Before liming	0	0	1,9	3,3	1,1	2,0	1,2	2,3	0,4	3,3	200	5,6
CaCO ₃	0	0	1,7	2,6	1,1	2,2	0,5	1,5	0,4	2,9	190	6,0
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	0	0	1,6	2,0	0,9	1,9	0,5	1,7	0,3	2,7	210	6,2
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	0	0	1,6	2,7	1,1	2,3	0,5	1,6	0,4	3,0	200	5,5
Zn												
Antes da calagem / Before liming	-	-	2,7a	0,4	2,2a	0,6	0,3	0,3	-	-	-	-
CaCO ₃	-	-	0,8b	0,4	0,7b	0,6	0,4	0,3	-	-	-	-
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	-	-	0,8b	0,4	0,7b	0,5	0,4	0,3	-	-	-	-
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	-	-	0,8b	0,4	0,7b	0,6	0,5	0,3	-	-	-	-

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. -: valores não determinados.

Means followed by the same letter within columns are not different by the Tukey test at 5% of probability level. -: non-determined values.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tabela 2 – Teores de manganês (mg dm⁻³) extraídos em Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (NQ) após dois cultivos com soja.

Table 2 – Manganese levels (mg dm⁻³) extracted from Habludox (LV) and Quartzpsament (NQ) after being twice cultivated with soybeans.

Tratamentos / Treatments	Cultivares / Cultivars	Água / Water		Mehlich 1		Mehlich 3		DTPA-TEA		Facilmente redutível / Easily reducible		Total	
		LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ
<i>omissão de Mn e Zn / without Mn and Zn</i>													
CaCO ₃	IAC 15-1	0	0b	1,1	1,8a	0,8ab	1,5a	0,1c	0,7ab	0,3	1,5b	250	4,6
	IAC 17	0	0,1a	1,5	1,7a	0,8ab	1,4a	0,4a	0,9a	0,5	2,0a	230	4,1
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	0	0b	1,3	1,0b	0,9ab	0,9bc	0,2bc	0,4bc	0,4	1,1c	260	3,8
	IAC 17	0	0,2a	1,5	1,6a	1,1a	1,3a	0,3ab	1,0a	0,3	1,8ab	330	3,8
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	0	0b	1,2	0,9b	0,7b	0,7c	0,2bc	0,2c	0,5	0,8c	270	3,4
	IAC 17	0	0,2a	1,5	1,4a	1,1a	1,1b	0,4a	1,0a	0,4	1,8ab	300	4,0
CV(%)		-	31	13	6	11	5	17	11	17	6	10	14
<i>omissão de Mn e aplicação de Zn / without Mn and with Zn</i>													
CaCO ₃	IAC 15-1	0	0b	1,4	1,5a	1,1	1,3a	0,2	0,6ab	0,3	1,6a	200	4,6
	IAC 17	0	0,1ab	1,6	1,6a	1,0	1,3a	0,2	0,9a	0,5	1,3ab	240	3,5
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	0	0b	1,3	1,1b	0,8	0,8ab	0,2	0,5bc	0,4	1,4ab	170	4,5
	IAC 17	0	0,2a	1,2	1,6a	1,5	1,1a	0,2	0,9a	0,2	1,3ab	250	4,1
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	0	0b	1,5	0,7c	1,0	0,4b	0,1	0,2c	0,3	1,1bc	200	3,6
	IAC 17	0	0,1ab	1,4	1,4ab	1,1	0,8ab	0,2	0,8ab	0,3	0,9c	230	2,9
CV (%)		-	49	15	6	17	16	20	16	21	7	10	14
<i>omissão de Zn e aplicação de Mn / without Zn and with Mn</i>													
CaCO ₃	IAC 15-1	0,1	0,1	7,1	5,0ab	16,6	5,9ab	4,5b	3,4b	12,1	7,5a	510a	9,8ab
	IAC 17	0,1	0,1	10,7	5,5a	21,7	6,7a	4,7b	4,3ab	11,3	8,4a	470ab	10,5a
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	0,2	0	7,0	4,2bc	16,1	4,3bc	4,8b	4,0ab	11,7	5,8b	440ab	8,0bc
	IAC 17	0,2	0,1	11,4	5,0ab	21,5	5,9ab	8,2a	5,0a	11,0	6,3b	450ab	9,4ab
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	0,2	0	8,6	1,5d	17,2	1,6d	4,6b	1,3c	11,7	2,3c	400b	4,9d
	IAC 17	0,2	0,1	10,5	3,6c	18,8	3,7c	5,7b	3,4b	11,0	4,0c	410b	6,9cd
CV (%)		26	38	14	6	10	8	10	8	5	5	5	7
<i>aplicação de Mn e Zn / with Mn and Zn</i>													
CaCO ₃	IAC 15-1	-	0	-	5,4a	-	5,4ab	-	3,6a	-	7,7a	-	9,9a
	IAC 17	-	0,1	-	5,0ab	-	5,9a	-	3,7a	-	6,9ab	-	9,7a
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	-	0,1	-	3,1bc	-	2,5cd	-	2,4b	-	3,7bc	-	6,6bc
	IAC 17	-	0	-	4,5ab	-	4,9abc	-	4,0a	-	6,1ab	-	7,8ab
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	-	0	-	1,6c	-	1,1d	-	1,1c	-	2,1c	-	5,0c
	IAC 17	-	0,1	-	3,9ab	-	3,2bcd	-	3,1ab	-	4,5abc	-	6,5bc
CV(%)			61		12		17		8		18		8

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. - : valores não determinados.

Means followed by the same letter within columns are not different by the Tukey test at 5% of probability level. - : non-determined values.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

TEA (Tabela 3), nos tratamentos sem aplicação de zinco, mostrou-se semelhante ao encontrado após a calagem (Tabela 1). No entanto, nos tratamentos com aplicação de Zn, verifica-se que houve aumento na disponibilidade do elemento, de modo geral, obtendo-

se teores considerados adequados (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985; GALRÃO, 1993; RAIJ et al., 1996). De modo semelhante ao ocorrido com o manganês, após dois cultivos com soja no NQ, mesmo com aplicação do micronutriente, na presença de carbonato de magnésio,

Tabela 3 – Teores de zinco (mg dm^{-3}) extraídos em Latossolo Vermelho (LV) e Neossolo Quartzarênico (NQ) após dois cultivos com soja.

Table 3 – Zinc levels (mg dm^{-3}) extracted from Habludox (LV) and Quartzpsament (NQ) after being twice cultivated with soybeans.

Tratamentos / Treatments	Cultivares / Cultivars	Mehlich 1		Mehlich 3		DTPA-TEA	
		LV	NQ	LV	NQ	LV	NQ
omissão de Mn e Zn / without Mn and Zn							
CaCO ₃	IAC 15-1	0,9	0,8a	0,3	0,8a	0,5	0,4a
	IAC 17	0,8	0,9a	0,3	0,8a	0,5	0,4a
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	0,6	0,6ab	0,4	0,7a	0,4	0,4a
	IAC 17	0,8	0,5ab	0,5	0,6ab	0,6	0,4a
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	0,7	0,6ab	0,2	0,6ab	0,6	0,3ab
	IAC 17	0,9	0,4b	0,5	0,5b	0,6	0,2b
CV (%)		18	17	23	9	18	8
omissão de Mn e aplicação de Zn / without Mn and with Zn							
CaCO ₃	IAC 15-1	3,5ab	3,0a	2,9a	2,5ab	2,9ab	1,7ab
	IAC 17	3,5ab	2,9ab	2,9a	2,8a	2,4c	1,8a
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	3,4b	1,6c	3,1a	1,5c	3,2a	1,1c
	IAC 17	3,6ab	1,9bc	2,9a	1,8bc	2,7bc	1,2bc
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	3,7a	1,3c	3,0a	1,4c	3,0ab	0,8c
	IAC 17	3,7a	1,6c	3,1a	1,4c	2,6bc	1,0c
CV (%)		2	14	2	11	4	10
omissão de Zn e aplicação de Mn / without Zn and with Mn							
CaCO ₃	IAC 15-1	0,7	0,8a	0,4	0,7	0,5	0,4
	IAC 17	0,8	0,7a	0,3	0,7	0,5	0,5
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	0,8	0,5a	0,2	0,5	0,5	0,3
	IAC 17	0,8	0,7a	0,6	0,7	0,5	0,4
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	0,5	0,5a	0,5	0,5	0,5	0,3
	IAC 17	0,8	0,4a	0,4	0,5	0,6	0,3
CV (%)		27	17	21	14	27	17
aplicação de Mn e Zn / with Mn and Zn							
CaCO ₃	IAC 15-1	-	2,8a	-	2,7a	-	1,6a
	IAC 17	-	2,6a	-	2,4ab	-	1,5ab
CaCO ₃ /MgCO ₃ (3:1)	IAC 15-1	-	1,6c	-	1,6cd	-	1,0cd
	IAC 17	-	2,0b	-	1,9bc	-	1,3bc
CaCO ₃ /MgCO ₃ (1:1)	IAC 15-1	-	1,0d	-	1,1d	-	0,7d
	IAC 17	-	1,7bc	-	1,5cd	-	1,0cd
CV (%)		-	5	-	8	-	6

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a probabilidade de 5%. -: valores não determinados.

Means followed by the same letter within columns are not different by the Tukey test at 5% of probability level. -: non-determined values.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

os teores de Zn atingiram valores no solo próximos ao limite crítico de deficiência, segundo GALRÃO (1993), possivelmente em decorrência da menor reserva do nutriente neste tipo de solo.

Nos dois solos em estudo, as correlações entre os extratores de Mn e Zn do solo são altamente significativas ($P < 0,01$), como pode ser observado na Tabela 4. Nas correlações lineares entre os teores de manganês e zinco no solo, determinados pelos extratores e os teores foliares na soja, observa-se que o Zn apresenta alta

correlação ($P < 0,01$) com todos os extratores, o mesmo ocorrendo com o Mn no Latossolo Vermelho. No entanto, no NQ, em relação ao Mn extraído do solo e o teor foliar, somente houve significância ($P < 0,05$) quando foi utilizado Mehlich 3, ou feita a extração de Mn-total via ácido nítrico mais perclórico (Tabela 5). A partir dos resultados, verifica-se que os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA, comumente utilizados para extração de teores trocáveis de nutrientes, podem ser utilizados para a determinação de Zn em LV e NQ, e Mn

Tabela 4 – Coeficientes de correlação linear entre extratores de manganês e zinco em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico.

Table 4 – Linear correlation coefficients between manganese and zinc extractors in Habludox and Quartzpsament.

Extratores / Extractors	Latossolo Vermelho / Habludox					Neossolo Quartzarênico / Quartzpsament				
	Mehlich 3	DTPA- TEA	Água / Water	Facilmente redutível / Easily reducible	Total	Mehlich 3	DTPA- TEA	Água Water	Facilmente redutível / Easily reducible	Total
Mn										
	0,98**	0,94**	0,91**	0,94**	0,88**	0,92**	0,93**	0,45**	0,98**	0,39**
		0,96**	0,93**	0,97**	0,90**		0,84**	0,34**	0,90**	0,36**
DTPA			0,93**	0,92**	0,83**			0,59**	0,89**	0,39**
Água / Water				0,93**	0,85**				0,40**	0,16ns
Facilmente redutível / Easily reducible					0,89**					0,39**
Zn										
Mehlich 1	0,98**	0,94**				0,98**	0,97**			
Mehlich 3		0,95**					0,98**			

** e ns: significativo a 1% e não-significativo, respectivamente.

** and ns: significant at 1% and non-significant, respectively.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação linear entre os teores de manganês no solo determinados pelos extratores e os teores encontrados nas folhas usadas para diagnose na soja cultivada, após dois cultivos em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico.

Table 5 – Linear correlation coefficients between the manganese levels in soil determined by the extractors and the levels found in leaves of soybean plants after two cropping seasons in Habludox and Quartzpsament.

Cultivares	Latossolo Vermelho / Habludox						Neossolo Quartzarênico / Quartzpsament					
	Água / Water	Mehlich 1	Mehlich 3	DTPA	Facilmente redutível / Easily reducible	Total	Água / Water	Mehlich 1	Mehlich 3	DTPA	Facilmente redutível / Easily reducible	Total
Mn												
IAC 15-1	0,90**	0,96**	0,94**	0,94**	0,95**	0,85*	0,11ns	0,10ns	0,16ns	0,37°	0,06ns	0,07ns
IAC 17	0,91**	0,94**	0,95**	0,92**	0,96**	0,89**	0,37°	0,27ns	0,46*	0,38°	0,28ns	0,46*
Zn												
IAC 15-1	-	0,93**	0,94**	0,94**	-	-	-	0,88**	0,90**	0,92**	-	-
IAC 17	-	0,91**	0,91**	0,99**	-	-	-	0,96**	0,96**	0,97**	-	-

** , * , ° : significativo a 1%, 5% e 10%, respectivamente. - : valores não determinados.

** , * , ° : significant at 1%, 5% and 10%, respectively. - : non-determined values.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

em LV. No entanto, são necessários mais estudos sobre o comportamento do Mn em NQ, solo que, atualmente, é predominante nos novos empreendimentos agrícolas com a cultura da soja.

Conclusões

Os teores de manganês e zinco no solo apresentaram alta correlação entre os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA.

Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA-TEA apresentaram correlações positivas e significativas com os teores de manganês e zinco encontrados nas folhas usadas para diagnose no Latossolo Vermelho. No Neossolo Quartzarênico, o Mn extraído apresentou significância somente em Mehlich 3, no cultivar IAC 17.

Referências

- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.205-212, 1989.
- BOARO, C. S. F.; MORAES, J. A. P. V. de; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O.; CURI, P. R. Interações entre magnésio e micronutrientes metálicos durante o desenvolvimento do feijoeiro, em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.1, p.125-134, 1999.
- CAMARGO, L. C.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre, ferro no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.83-88, 1982.
- COX, F. R. Development of a yield response prediction and manganese soil test interpretation for soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, p.521-524, 1968.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development description for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Crop Science**, Madison, v.11, p.929-931, 1971.
- GALRÃO, E. Z. Níveis críticos de zinco em Latossolo vermelho-amarelo argiloso sob cerrado para a soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.83-87, 1993.
- HESSE, P. R. **A textbook of soil chemical analysis**. New York: Chemical Publishing, 1972. 520p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 331p.
- KAMPRATH, E. J.; WATSON, M. E. Conventional soil and tissue for assessing the phosphorus in agriculture. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.433-469.
- KUMAR, V.; BHATIA, B. K.; SHUKLA, V. C. Magnesium and zinc relationship in relation to dry matter yield and the concentration and uptake of nutrients in wheat. **Soil Science**, Baltimore, v.131, n.3, p.151-155, 1981.
- LINDSAY, W. L.; NORWELL, W. A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.421-428, 1978.
- LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: Anda, 1999. 72p.
- LOPES, A. S. **Solos sob "cerrados": características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Potafos, 1983. 162p.
- MACHADO, P. L. O. A.; PAVAN, M. A. Adsorção de Zn por alguns solos do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.253-256, 1987.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: Potafos, 1985. 136p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15, p.1409-1416, 1984.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Bern: International Potash Institute, 2001. 849 p.
- MOREIRA, A. **Influência do magnésio na absorção e transporte do manganês e do zinco na soja**. 1999. 138f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. A. de. **Efeitos do manganês sobre a soja em solução nutritiva e em solo do cerrado do triângulo mineiro**. 1996. 69f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Estatística experimental**. Piracicaba, 2000. 477p.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ªed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REISENAUER, H. M. **Determination of plant-available soil manganese**. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Ed.). Manganese in soil and plants. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p.87-98.

RIBEIRO, A. H.; GUIMARÃES, P. T. C.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Deficiência de Mn em soja induzida por adubação potássica e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.833-836, 1990.

SOUZA, E. C. A. de; FERREIRA, M. E. Zinco. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos; CNPq, 1991. p.219-242.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1985. 754p.

TRAN, T. S.; GIROUX, M.; GUILBEAUT, J.; AUDESS, P. Evaluation of Mehlich – III extractant to estimate the available P in Quebec soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.21, p.1-28, 1990.

VIETS JUNIOR, F. G.; LINDSAY, W. L. **Testing soils for zinc, copper, manganese and iron**. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (Ed.). Soil-testing and plant analysis. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p.153-172.

Recebido em 19-5-2005.

Aceito para publicação em 25-11-2005.