

Affonso Celso Gonçalves Jr. ^(1,3)
Eduardo Sacon ^(2,3)
Ederson Mondardo ^(2,3)

**CAPACIDADE DOS MÉTODOS EXTRATORES E
FITODISPONIBILIDADE DE COBRE PARA
CULTURA DO MILHO CULTIVADO EM
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO**

RESUMO: Realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar dois extratores químicos, Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N) e o agente complexante DTPA (Dietileno triamino pentaacético), na extração do cobre disponível em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, e avaliar a fitodisponibilidade de Cu para a cultura do milho. O experimento foi conduzido no município de Palotina—PR. As parcelas corresponderam a 3,6 m de largura por 6 m de comprimento. Foram semeadas 4 linhas espaçadas com 0,9 m, utilizando-se como parcela útil as 2 linhas centrais, descartando-se 1,5 m de bordadura. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 3x3 constituindo três doses de adubação NPK: sem adubação; uma vez a recomendação (30 – 100 – 50 kg ha⁻¹) e duas vezes a recomendação de adubação (60 – 200 – 100 kg ha⁻¹), com base na exigência da cultura e análise do solo. Outro fator em estudo foi a resposta à aplicação de cobre em diferentes doses: 0,0, 5,0 e 10,0 mg dm⁻³. A correlação dos extratores Mehlich-1 e DTPA com a concentração de Cu na planta apresentou, respectivamente, os seguintes valores $r=0,9951$ e $r=0,9907$, verificando-se, dessa forma, que o extrator Mehlich-1 apresentou melhor correlação com a absorção de Cu pela planta.

PALAVRAS-CHAVE: Cobre; Mehlich-1; DTPA.

Data de recebimento: 07/11/05. Data de aceite para publicação: 25/11/05.

¹ Químico Industrial. Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias. Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon. Endereço eletrônico: affonso@unioeste.br.

² Acadêmico do Centro de Ciências Agrárias. Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon.

³ Membro do Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (GESOMA). Endereço: Rua Pernambuco, 1777 – CEP: 85960-000. Marechal Cândido Rondon – Paraná. Endereço eletrônico: gesoma.unioeste@bol.com.br.

SUMMARY: This work was accomplished with the objective of evaluating two chemical extractors, Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) and the complexant agent DTPA (Dietileno triamino pentaacético), in the extraction of the available copper in eutrophic Red-Yellow Argisols, and evaluating the fitoavailability of copper for the corn culture. The experiment was carried out in Palotina – Paraná. The portions corresponded to 3,6 m of width for 6 m of length. Four lines were sowed, separated by a space of 0,9 m, and the two central lines were used as a useful portion, being discarded 1,5 m of edging. The treatments were arranged in a 3x3 factorial outline, constituting three NPK fertilization doses: without fertilization; once the recommendation (30 - 100 - 50 kg ha⁻¹) and twice the recommendation (60 - 200 - 100 kg ha⁻¹), based on the need of the culture and on the analysis of the soil. Another factor in study was the reaction to the application of copper in different doses: 0,0; 5,0 and 10,0 mg dm⁻³. The correlation of the extractors Mehlich-1 and DTPA with the concentration of copper in the plant presented the following values $r = 0,9951$ and $r = 0,9907$, respectively, thus being verified that the extractor Mehlich-1 presented a better correlation with the absorption of copper by the plant.

KEYWORDS: Copper; Mehlich-1; DTPA.

1. INTRODUÇÃO

Os micronutrientes, embora exigidos em pequenas quantidades, são essenciais para o desenvolvimento adequado das plantas, sendo que, quando fornecidos em quantidades inferiores às exigências, podem provocar uma diminuição na produtividade. O fornecimento de cobre para as diversas culturas pode ser efetuado: no solo, na forma de adubos; diretamente à planta, através de adubação foliar; ou por tratamento de sementes com sais (GIANELLO et al., 1995).

A necessidade de alcançar elevados patamares de produtividade tem levado a uma crescente preocupação com o uso de micronutrientes na adubação. A sensibilidade à deficiência de micronutrientes varia conforme a espécie cultivada. O milho tem alta sensibilidade à deficiência de zinco, sensibilidade média em relação ao cobre, ferro e manganês e sensibilidade baixa em relação ao boro e molibdênio (EMBRAPA, 2001).

Dentre os extratores de micronutrientes que definem os níveis críticos para a aplicação de micronutrientes para as culturas, talvez o boro seja o elemento que apresente um extrator universal, ou seja, a

água quente. Os demais extratores geralmente utilizados para avaliar a disponibilidade de micronutrientes (Zn, Mn, Cu e Fe), dependendo dos solos estudados, não mostram resultados totalmente confiáveis para prever a adubação (GALRÃO, 1995).

Para proceder a uma análise dos nutrientes nos solos para fins de adubação, utilizam-se reagentes químicos (geralmente soluções diluídas) que tentarão simular a ação das raízes das plantas, ou seja, deverão extrair do solo apenas as formas químicas dos nutrientes que as raízes extrairiam — são chamados de extratores. A força extratora dessas soluções varia conforme a substância utilizada, sua concentração e a proporção solo/solução que se utiliza durante a extração (TOMÉ JR., 1997).

A extração e determinação de micronutrientes em solos é mais complexa que a convencional de macronutrientes, pois problemas com contaminações e amostragem inadequada podem causar erros. Os micronutrientes apresentam-se em teores baixos sendo de difícil detecção, aumentando o erro analítico e ainda não há concordância nos métodos a serem usados no Brasil. Na extração de metais, tais como Cu, Fe, Zn e Mn, têm sido empregados muitos extratores, sendo indicado atualmente o uso de DTPA, Mehlich-1 ou de HCl 0,1 mol L⁻¹ (RAIJ, 1991).

Outro aspecto, que deverá ser levado em consideração em estudos de seleção de extratores, diz respeito ao vegetal a ser utilizado no estabelecimento das correlações. LOGAN & CHANEY (1984) mostraram que concentrações relativamente altas de Cu, Zn, Ni e Cd em solos que receberam lodo de esgoto foram mais tóxicas para acelga, alface, cenoura, beterraba, nabo e amendoim do que para milho e sorgo.

A necessidade de se definirem os melhores extratores de micronutrientes para os solos do Paraná foi discutida em uma reunião da Comissão Estadual de Laboratórios de Análises Agronômicas do Paraná (CELA-PR), em 2001. A partir deste evento, o GESOMA — Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente — se propôs a iniciar este estudo na região Oeste do Paraná.

Realizou-se este trabalho, portanto, com o objetivo de avaliar dois extratores químicos, Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) e o agente complexante DTPA (Dietileno triamino pentaacético), na extração do cobre disponível em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, e avaliar a fitodisponibilidade de Cu para a cultura do milho a partir de diferentes doses deste micronutriente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se o experimento no município de Palotina—PR, na comunidade de Linha La Salle, onde o solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico de textura arenosa (24,2% de argila, 64% de areia e 11,8% de silte).

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos casualizados e esquema fatorial 3x3, com quatro repetições, constituídos de três formas de adubação NPK (Nitrogênio, Fósforo, Potássio): sem adubação (testemunha); uma vez a recomendação de adubação (30 – 100 – 50 kg ha⁻¹), determinada de acordo com a necessidade da cultura e análise química do solo, e duas vezes a recomendação de adubação (60 – 200 – 100 kg ha⁻¹). As doses de Cu utilizadas foram: 0,0, 5,0 e 10,0 mg dm⁻³, sendo os tratamentos aplicados no sulco de semeadura.

Utilizou-se o cultivar de milho AGROESTE—1544, híbrido simples de ciclo precoce. Cada bloco apresentava 6 m de largura por 33 m de comprimento. As parcelas corresponderam a 3,6 m de largura por 6 m de comprimento. Semeou-se 4 linhas espaçadas 0,9 m, utilizando-se como parcela útil as 2 linhas centrais, descartando-se 1,5 m de bordadura. A população de plantas foi de 6,5 sementes por metro linear.

Para análise química coletou-se o solo na profundidade de 0 – 20 cm (Tabelas 1 e 2), sendo as coletas realizadas segundo metodologias oficiais do IAPAR para Estado do Paraná (PAVAN, 1992).

TABELA 1 – Análise química do solo

Profundidade	P*	MO	Ph	H+Al	K*	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V %
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----						
0 – 20 cm	2,41	15,41	5,01	6,21	0,19	5,29	2,51	7,9	14,2	56,0

* P – extrator Mehlich-1.

TABELA 2 – Análise de micronutrientes no solo

Profundidade	Cu	Mn	Zn	Fe
	-----mg dm ⁻³ -----			
0 – 20 cm	2,0	61,0	2,7	19,0

Extrator Mehlich-1.

As fontes de N, P, K e Cu na base foram: uréia, fosfato bicálcico, nitrato de potássio e sulfato de cobre respectivamente. A semeadura do milho foi em sistema convencional, com uma subsolagem e duas gradagens, além de capinas manuais para controle das plantas daninhas. Após o cultivar atingir o estágio de seis folhas, realizou-se adubação nitrogenada em cobertura, sendo fonte de nitrogênio a uréia (45% N), com dose igual para todas as parcelas, de 90 kg ha⁻¹ de N.

A coleta do material vegetal para análise química foi realizada coletando-se dez folhas por parcela (folha oposta e abaixo da espiga principal), num total de 36 amostras, que foram secas em estufa com circulação de ar forçada, pesadas, moídas e armazenadas em sacos de polietileno.

Juntamente com a coleta de tecido vegetal foram coletadas amostras de solo. Para cada parcela, coletaram-se três subamostras que, após serem misturadas, formaram uma amostra composta, perfazendo um total de 36 amostras para cada solo. Estas foram secas (48 h a 65°C) e peneiradas (peneira de 0,2 mm).

A extração de cobre foi realizada nas 72 amostras utilizando-se os extratores Mehlich-1 e DTPA. As determinações dos teores de N, P e K foliares foram realizadas segundo metodologia IAPAR (PAVAN, 1992) e a determinação de Cu foliar foi realizada por digestão nitro-peróxido e técnicas de espectrometria de absorção atômica modalidade chama (AOAC, 1990).

Os resultados foram submetidos à análise de variância para verificar o efeito dos tratamentos em relação à capacidade dos métodos extratores e fitodisponibilidade de Cu para a cultura do milho. Após efetuou-se análise estatística através do teste Tukey, considerando os níveis de 1 e 5% de probabilidade. Utilizou-se a correlação entre os extratores e a absorção de Cu pela planta para determinar o método mais adequado para extração de Cu em solos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 observa-se que as diferentes adubações com NPK influenciaram, de maneira significativa, a concentração dos macronutrientes fósforo e potássio no solo, bem como as diferentes doses de adubação com Cu influenciaram significativamente a concentração do cobre no solo.

TABELA 3 – Análise de variância para teores de fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio e teores de cobre no solo extraídos por Mehlich – 1 e DTPA

QUADRADOS MÉDIOS									
Fonte de Variação	GL	P	MO	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cu ²⁺ Mehlich-1	Cu ²⁺ DTPA
Bloco	3	17,17ns	66,14ns	0,09ns	0,13ns	0,24ns	0,04ns	2709,75ns	583,99ns
Dose NPK	2	4164,13**	33,99ns	0,03ns	0,44*	0,02ns	0,05ns	1478,38ns	1666,96*
Dose Cu	2	85,54*	2,97ns	0,01ns	0,05ns	0,09ns	0,04ns	2746,77**	44166,90**
NPK *Cu	4	5452*	23,99ns	0,21ns	0,15ns	0,10ns	0,01ns	627,02ns	787,11ns
Resíduo	24	18,08	28,73	0,11	0,09	0,31	0,03	1438,16	397,44
C.V. (%)		17,75	29,12	6,46	49,49	11,66	20,68	85,33	38,94
DMS		4,33	5,96	0,33	0,31	0,57	0,17	38,64	20,32

**, * - significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.
ns - não significativo pelo teste de F.

A Tabela 4 apresenta os resultados da adubação com P e K, na qual se observa aumento significativo dos teores de fósforo no solo à medida que se aumentou a dose na semeadura. Com relação aos teores de potássio, houve diferença significativa apenas entre a testemunha e o tratamento com 100 kg ha⁻¹ de K₂O.

TABELA 4 – Teores de fósforo e potássio no solo em função das doses aplicadas

N - P ₂ O ₅ - K ₂ O [Kg ha ⁻¹]	Fósforo [mg dm ⁻²]	Potássio [cmol ⁺ dm ⁻²]
0 - 0 - 0	2,938 C	0,430 B
30 - 100 - 50	25,180 B	0,600 AB
60 - 200 - 100	39,928 A	0,813 A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A Tabela 5 apresenta os teores de Cu no solo extraídos por Mehlich-1 e DTPA. Observa-se que o extrator DTPA apresentou maiores teores de Cu na testemunha e na dose de 10 mg dm⁻³ de Cu, quando comparado com o extrator Mehlich-1. Na dose de 5 mg dm⁻³ de Cu, o extrator Mehlich-1 apresentou maiores absorções quando comparado com o extrator DTPA.

TABELA 5 – Teores de cobre no solo extraídos por Mehlich – 1 e DTPA em função das doses aplicadas no solo

Doses de Cu (mg dm ⁻³)	Mehlich - 1 (mg dm ⁻³)	DTPA (mg dm ⁻³)
0	1,325 B	3,084 C
5	47,717 A	37,151 B
10	84,292 A	99,347 A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

SHUMAN (1998) explica que o aumento do pH diminui a disponibilidade dos metais do solo por meio de reações de precipitação e pelo aumento da adsorção por colóides de carga variável, o que também aponta para uma menor extração quando se utiliza o DTPA.

Na Tabela 6 observa-se que ocorreu aumento significativo de Cu no tecido foliar da planta à medida que aumentam as doses de Cu no solo. Segundo CRUZ & FERREIRA (1990), a planta é o melhor extrator de nutrientes, refletindo com maior precisão sua disponibilidade, sendo assim, um bom extrator, para uma situação específica, deve simular seu comportamento. Entretanto, há de se levar em consideração que a adequação de um extrator a uma dada situação não implica que será obtido sucesso com seu emprego em outras situações, necessitando o seu estudo em outras regiões (CRUZ & FERREIRA, 1990).

TABELA 6 – Concentração de cobre no tecido foliar de milho em função das doses de Cu aplicadas no solo

Doses de Cu no Solo (mg dm ⁻³)	Concentração de Cu no Tecido Foliar (mg dm ⁻³)
0	2,260 C
5	44,167 B
10	90,833 A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A correlação dos extratores Mehlich-1 e DTPA com a concentração de Cu na planta apresentou, respectivamente, os valores $r = 0,9951$ e $r = 0,9907$, verificando que o extrator Mehlich-1 apresentou

melhor correlação com a absorção pela planta. Segundo GALRÃO (1995), pode ocorrer influência do próprio extrator no pH do solo. Assim extratores ácidos como o Mehlich-1, podem extrair mais cobre do solo, podendo extrair níveis superiores do que o disponível para a planta, já os extratores complexantes como o DTPA, extraem menos cobre do solo, apontando para maior eficácia do primeiro em solos mais ácidos e do segundo em solos alcalinos.

Estudos realizados em solos do Estado de São Paulo mostraram que os valores de correlação obtidos entre os teores de Cu ou de Zn no solo extraídos pelo DTPA e seus teores na planta foram iguais ou melhores que aqueles obtidos usando métodos comumente empregados no Brasil, tais como Mehlich-1 e HCl (ABREU & RAIJ, 1996).

4. CONCLUSÃO

Os teores de cobre disponível no solo, tanto para a extração por Mehlich-1 como para a extração por DTPA, apresentaram-se de forma crescente conforme a dose de Cu aplicada no solo. O extrator Mehlich-1 apresentou melhor correlação entre a extração de Cu do solo com a fitodisponibilidade de Cu no tecido foliar da cultura do milho.

5. REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; RAIJ, B. V. “Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1”. **Bragantia**. Campinas, v. 55, p. 357-363, 1996.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. Vol. 1, 15. ed., p. 1117, 1990.

CRUZ, M. P.; FERREIRA, M. E. “Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 25, n. 4, p.647-659, abr. 1990.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologia de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001, 281p.

GALRÃO, E. Z. “Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado”. **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo - v. 19, p. 255-260, 1995.

LOGAN, T. J.; CHANEY, R. L. In: PAGE, A. L.; GLEASON, T. L.; SMITH, J.; ISKANDAR, L. K.; SOMMERS, L. E. "Utilization of municipal waste water and sludge on land". **Riverside**, University California Press, p. 165-267, 1984.

PAVAN M. A. et al. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres. 1991. 343 p.

SHUMAN, L.M. "Effect of organic waste amendments on cadmium and lead in soil fractions of two soils". **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 29, p. 2939-2952, 1998.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba Agropecuária Ltda. 1997. 240 p.

Unioeste
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
— www.unioeste.br —
REVISTA VARIA SCIENTIA
Versão eletrônica disponível na internet:
www.unioeste.br/saber

V A R I A
S C I E N T I A