

ARLINDO FERREIRA DE FARIA

**DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANGANÊS, ZINCO E COBRE NO SOLO
POR MEHLICH-1, MEHLICH-3 E DTPA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F224d Faria, Arlindo Ferreira de, 1979-
2019 Disponibilidade de ferro, manganês, zinco e cobre no solo
por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA / Arlindo Ferreira de Faria. –
Viçosa, MG, 2019.
x, 148 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Víctor Hugo Alvarez Venegas.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Química do solo. 2. Ácido dietilenotriaminopentacético.
3. Micronutrientes. 4. Extração (Química). I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.41

ARLINDO FERREIRA DE FARIA

**DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANGANÊS, ZINCO E COBRE NO SOLO
POR MEHLICH-1, MEHLICH-3 E DTPA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de março de 2019.


Márcio Rocha Francelino


Herminia Emilia Prieto Martinez


Renaldo Bertola Carharutti
(Coorientador)


Rogério Faria Vieira


Victor Hugo Alvarez V.
(Orientador)

A minha amada, fiel e linda esposa

Maria Cristina Cupertino

Ao meu querido filho

Samuel Lucas Cupertino de Faria

E a toda minha futura geração.

AGRADECIMENTOS

Querido DEUS gostaria de Lhe agradecer pelo dom sublime da vida, também por que enviastes a este mundo o Seu Único Filho, meu Senhor JESUS CRISTO, que se entregou como um verdadeiro cordeiro. Obrigado ao ESPÍRITO SANTO que recebi no meu batismo no dia 30 de setembro de 1979, o dia mais importante de minha vida. Quero agradecer também a mais sublime e perfeita das criaturas de DEUS, Maria, a qual o Brasil é consagrado e que todas as gerações a proclamem como a bem aventurada.

Agradecer àqueles que me amaram primeiro, meus pais, Luiz Lopes de Faria e Maria Maura Ferreira de Faria, que me educaram na fé católica e me ensinaram a crer na Igreja Una, Santa, Católica e Apostólica. Gostaria de agradecer a meus irmãos Adilson Ferreira Faria e Ana Lucia Ferreira Faria, irmãos valorosos, que sempre me apoiaram e são e serão os meus primeiros amigos. Não podia existir família melhor para que eu nascesse e crescesse.

Gostaria de agradecer a uma pessoa que jamais sairá do meu coração e da minha vida, Maria Cristina Cupertino, com a qual me casei a oito anos atrás. Uma mulher maravilhosa, de fé, inteligente, amável, linda, cuidadora, cheia de esperança e acima de tudo, mãe de meus filhos. É com esta mulher que eu quero envelhecer, estando sempre ao lado dela, com ela até o fim, até quando DEUS quiser. Quero agradecer também pela vida do Samuel Lucas Cupertino de Faria, fruto do meu amor com a Maria Cristina, este homem, faz a nossa casa ficar mais alegre e cheia de vida.

Agradecer ao meu cunhado Charles, a minha sobrinha Ana Luiza pelos momentos de alegria que passamos juntos. Não posso esquecer também da Maria Clara, que está sendo gerada no ventre de minha irmã e em nossos corações, ainda nem a conhecemos, porém, já a amamos de todo coração.

Agradecer ao professor Víctor Hugo, homem honesto com a Ciência e com a sociedade, um exemplo a ser seguido por todos os profissionais da educação, pois ama o que faz e sempre está de portas abertas para todos, com um sorriso incalculável e uma atenção sem medida. Agradecer aos meus coorientadores, professores Reinaldo Cantarutti e Leonardus, que me ajudaram na confecção desse trabalho. Professores também que amam a Ciência do Solo e são profissionais dedicados e atenciosos.

Agradecer aos componentes de minha banca de doutorado, professor Márcio Francelino, professora Hermínia e ao Dr. Rogério Faria, obrigado pelas suas contribuições.

Quero agradecer também aos demais professores do Departamento de Solos, como o prof. Júlio Neves, Renildes e Liovando, que sempre me ajudaram quando os procurei, a eles, meu respeito e gratidão.

Agradecer ao professor do Departamento de Fitotecnia, Rodrigo Oliveira de Lima, que gentilmente forneceu as sementes de milho utilizadas nesta pesquisa.

Agradecer pela amizade aos colegas de curso, Jaqueline, Patrícia, Edy, Gustavo Nogueira e Gustavo de Castro, Mateus, Demétrios, Mariana, Josimar, Denerson e Tais.

Agradecer aos funcionários do DPS, Carlos Fonseca, Marcos Vinícius e em especial ao Carlinhos que sempre esteve atendo e a disposição na leitura das amostras.

Agradecer ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

Arlindo Ferreira de Faria, filho de Luiz Lopes de Faria e de Maria Maura Ferreira de Faria, nasceu em Viçosa-MG em 12 de julho de 1979.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, em julho de 2005.

Em maio de 2006, ingressou no mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em junho de 2008.

Trabalhou no Instituto Estadual de Florestas de outubro de 2008 a fevereiro de 2015.

Em março de 2015, ingressou no doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em março de 2019.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO 1	6
DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANGANÊS, ZINCO E COBRE DE TRÊS SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS CULTIVADOS COM MILHO, QUANDO AS DOSES DOS MICRONUTRIENTES FORAM APLICADAS CONCOMITANTEMENTE	6
RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho	13
3.2. Teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos	15
3.3. Teores e conteúdo dos quatro micronutrientes na parte aérea de plantas de milho.....	29
3.4 Coeficientes de correlação linear simples entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu e os teores desses quatro micronutrientes pelos três extratores	34
4. CONCLUSÕES	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CAPÍTULO 2	40
DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANGANÊS ZINCO E COBRE DE TRÊS SOLOS DE MINAS GERAIS CULTIVADOS COM MILHO, QUANDO AS DOSES DOS MICRONUTRINTES VARIARAM INDEPENDETEMENTE.....	40
RESUMO	40
1. INTRODUÇÃO	42
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho	48
3.2. Níveis críticos e taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e de Cu.....	53
3.3. Teores e conteúdo de Fe, Mn, Zn e Cu nas plantas de milho.....	75
3.4 Coeficientes de correlação linear simples entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu e os teores destes quatro micronutrientes pelos três extratores.....	84
4. CONCLUSÃO	86
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
CAPÍTULO 3	90
DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANAGNÊS, ZINCO E DE COBRE DE 12 SOLOS CULTIVADOS COM MILHO, QUANDO AS DOSES DOS MICRONUTRIENTES FORAM APLICADAS CONCOMITANTEMENTE.....	90
RESUMO	90
1. INTRODUÇÃO	92
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
3.1. Resposta das plantas de milho à aplicação de micronutrientes	99
3.2 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos no solo	102
3.3. Teores e conteúdo de Fe, Mn, Zn e Cu nas plantas de milho.....	124
3.4 Coeficientes de correlação linear simples entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu e os teores destes quatro micronutrientes pelos três extratores.....	134
4. CONCLUSÕES	136
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
Anexos.....	139

RESUMO

FARIA, Arlindo Ferreira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2019. **Disponibilidade de ferro, manganês, zinco e cobre no solo por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA.** Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Coorientadores: Reinaldo Bertola Cantarutti e Leonardus Vergütz .

Estudos de correlação e calibração são necessários para determinar a eficiência de um extrator em estimar a disponibilidade dos nutrientes no solo. Nos primeiros estudos são testados diferentes extratores, sendo selecionados aqueles que melhor se correlacionam com o método padrão, que é a quantidade absorvida pelas plantas. Posteriormente são definidas as doses recomendáveis do nutriente a serem adicionadas ao solo e os níveis críticos. Os objetivos deste trabalho foram: avaliar os extratores DTPA, Mehlich-1 e Mehlich-3 com relação ao potencial de avaliação da disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Cu; determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação desses micronutrientes pelas plantas e por cada extrator. Para isso foram realizados três experimentos. No primeiro utilizou-se o fatorial: 3×6 , correspondendo a três Latossolos Vermelho-amarelo do Estado de Minas Gerais e seis doses dos micronutrientes em mg/dm^3 : Fe (0,0; 20,0; 40,0; 80,0; 120,0 e 200,0); Mn (0,0; 15,0; 30,0; 60,0; 90,0 e 120,0); Zn (0,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0 e 50,0) e de Cu (0,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0 e 20,0) que foram aplicadas nos três solos. Para o segundo experimento foi utilizado o fatorial $3 \times 4 \times 6$, correspondendo a três solos, quatro micronutrientes e seis doses dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu que se derivaram da matriz baconiana $6 + 6 + 6 + 6$. Foram utilizados os mesmos três solos e as mesmas doses do experimento um. Utilizou-se as seguintes doses de referência: $40 \text{ mg}/\text{dm}^3$ para o Fe; $30 \text{ mg}/\text{dm}^3$ para o Mn, $10 \text{ mg}/\text{dm}^3$ para o Zn e $4 \text{ mg}/\text{dm}^3$ para o Cu. O fatorial do terceiro experimento foi 12×6 , correspondendo a 12 solos e seis doses dos micronutrientes em mg/dm^3 : Fe (0,0; 8,0; 16,0; 32,0; 48 e 80); Mn (0,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0 e 50,0); Zn (0,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0 e 20,0) e de Cu (0,0; 1,5; 3,0; 6,0; 9,0 e 15,0) que foram aplicadas em cada solo. As fontes utilizadas foram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Os experimentos foram realizados em blocos casualizados com quatro repetições. A unidade experimental foi de um vaso plástico contendo $2,0 \text{ dm}^3$ de solo, onde cultivou-se quatro plantas de milho. A calagem foi realizada nos solos que dela necessitou. O solos ficaram incubados por um período de 15 d com o calcário. Após o período de incubação, as amostras de solo receberam as doses dos quatro micronutrientes, ficando incubadas por 7 d. Após esse período, coletaram-se

subamostras para a determinação dos teores de Fe, Mn, Zn e Cu por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Em cada experimento as plantas foram colhidas com 33 d de cultivo. As análises estatísticas consistiram de análises de variância, regressão e correlação. Os extratores com maior acidez, Mehlich-1 e Mehlich-3, conseguiram extrair maiores teores dos quatro micronutrientes do que o DTPA. No experimento um e dois os maiores níveis críticos dos quatro micronutrientes no solo foram obtidos com o Mehlich-1. No terceiro experimento, os maiores níveis críticos dos quatro micronutrientes no solo foram obtidos com o Mehlich-3. Os teores dos micronutrientes Mn, Zn e Cu recuperados pelos extratores foram altamente correlacionados entre si. As correlações mais elevadas dos teores de Fe recuperados ocorreram entre Mehlich-1 e Mehlich-3. Nos três experimentos, o DTPA foi mais eficiente em prever a disponibilidade de Fe para as plantas de milho. Os três extratores apresentaram capacidade de avaliar a disponibilidade de Mn, Zn e de Cu bem próximas, tendo uma ligeira vantagem o Mehlich-3. O extrator Mehlich-3 apresenta potencial para ser utilizado em análises de rotina de micronutrientes, uma vez que indicou boa correlação entre os conteúdos dos micronutrientes com os teores recuperados por ele. Entretanto, há necessidade de mais estudos com relação ao Fe.

ABSTRACT

FARIA, Arlindo Ferreira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2019. **Availability of iron, manganese, zinc and copper in soil by Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA.** Advisor: Víctor Hugo Alvarez V. Co-advisors: Reinaldo Bertola Cantarutti and Leonardus Vergütz.

Correlation and calibration studies are required to determine the efficiency of an extractor in estimating the availability of nutrients in the soil. In the first studies different extractors are tested, being selected those that better correlate with the standard method, that is the amount absorbed by the plants. Subsequently, the recommended doses of the nutrient to be added to the soil and critical levels are defined. The objectives of this work was to evaluate DTPA, Mehlich-1 and Mehlich-3 extractors in relation to the Fe, Mn, Zn and Cu availability potential; determine the critical levels and rates of recovery of these micronutrients by plants and by each extractor. Three experiments were carried out. In the first one the factorial was used: 3×6 , corresponding to three Red-yellow Oxisols of the State of Minas Gerais and six doses of micronutrients in mg/dm^3 : Fe (0,0; 20,0; 40,0; 80,0, 120,0 and 200,0); Mn (0,0, 15,0, 30,0, 60,0, 90,0 and 120,0); Zn (0,0, 5,0, 10,0, 20,0, 30,0 and 50,0) and Cu (0,0, 2,0, 4,0, 8,0, 12,0 and 20,0) that were applied in the three soils. For the second experiment, $3 \times 4 \times 6$ factorial was used, corresponding to three soils, four micronutrients and six doses of the micronutrients Fe, Mn, Zn and Cu that were derived from the baconiana matrix $6 + 6 + 6 + 6$. The same three soils and the same doses of experiment one were used. The following reference doses were used: 40 mg/dm^3 for Fe; 30 mg/dm^3 for Mn, 10 mg/dm^3 for Zn and 4 mg/dm^3 for Cu. The factorial of the third experiment was 12×6 , corresponding to 12 soils and six doses of micronutrients in mg/dm^3 : Fe (0,0, 8,0, 16,0, 32,0, 48,0 and 80,0); Mn (0,0, 5,0, 10,0, 20,0, 30,0 and 50,0); Zn (0,0, 2,0, 4,0, 8,0, 12,0 and 20,0) and Cu (0,0, 1,5, 3,0, 6,0, 9,0 and 15,0) that were applied to each soil. The sources used were $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. The experiments were performed in randomized blocks with four replicates. The experimental unit was from a plastic vessel containing $2,0 \text{ dm}^3$ of soil, where four corn plants were grown. The liming was done in the soils that needed it. The soils were incubated for 15 d with limestone. After the incubation period, the soil samples received the doses of the four micronutrients, being incubated for 7 d. After this period, subsamples were collected for the determination of the Fe, Mn, Zn and Cu contents by Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA. In each experiment the plants were harvested with 33 d of culture. Statistical analyzes consisted of analysis

of variance, regression and correlation. The extractors with higher acidity, Mehlich-1 and Mehlich-3, were able to extract higher levels of the four micronutrients than the DTPA. In the experiment one and two the highest critical levels of the four micronutrients in the soil were obtained with the Mehlich-1. In the third experiment, the highest critical levels of the four micronutrients in the soil were obtained with Mehlich-3. Micronutrient contents Mn, Zn and Cu recovered by the extractors were highly correlated with each other. The highest correlations of recovered Fe contents occurred between Mehlich-1 and Mehlich-3. In all three experiments, DTPA was more efficient in predicting the availability of Fe to maize plants. The three extractors were able to evaluate the availability of Mn, Zn and Cu very closely, with a slight advantage of Mehlich-3. The extractor Mehlich-3 presents potential to be used in routine analyzes of micronutrients, since it indicated a good correlation between the contents of the micronutrients with the contents recovered by it. However, there is a need for further studies regarding Fe.

INTRODUÇÃO GERAL

Para completar o seu ciclo de vida, as plantas necessitam de 17 elementos essenciais, entre os quais Fe, Mn, Zn e Cu, considerados micronutrientes, por serem requeridos em pequenas quantidades. Por isso as deficiências desses nutrientes nos solos são geralmente as últimas que aparecem. Além disso, os teores desses micronutrientes nos solos vão diminuindo, devido à remoção pelas culturas, e práticas como a calagem podem afetar a disponibilidade desses micronutrientes para as plantas (Bataglia e Raij, 1989).

A disponibilidade dos micronutrientes para as plantas depende, entre outros fatores, da textura, tipo e teor de matéria orgânica (MO) e, principalmente, do pH. O aumento do pH do solo reduz a disponibilidade de Fe, Mn, Zn e de Cu (Marschner, 1995).

No geral, o Fe é o micronutriente presente em maiores concentrações na matéria seca das plantas, onde desempenha importantes funções, como a ativação de enzimas, atuando como grupo prostético, está envolvido no transporte de elétrons na fotossíntese (Dechen e Nachtigall, 2006). Por ser nutriente imóvel na planta, os sintomas de deficiência ocorrem em folhas novas.

O Mn^{2+} é a forma preferencial de absorção pelas plantas, sendo que este nutriente é essencial a síntese de clorofila, e a sua principal função está relacionada a ativação de várias enzimas (Marschner, 1995). A deficiência desse micronutriente é mais comum em solos orgânicos, devido a capacidade do mesmo em formar complexos com a MO (Dechen e Nachtigall 2006).

O Zn é absorvido na forma de Zn^{2+} tanto por via radicular como foliar, sendo que os maiores teores são encontrados na raiz, enquanto nos frutos os teores desse micronutriente são muito baixo (Dechen e Nachtigall 2006).

O Cu está presente no solo na forma Cu^{2+} , formando complexos com compostos orgânicos do solo. Apresenta maior disponibilidade na faixa de pH entre 5,0 e 6,5. Plantas cultivadas em solos orgânicos podem apresentar deficiência desse nutriente, já que o Cu pode formar complexos estáveis com a matéria orgânica, ficando apenas uma pequena fração disponível para as plantas (Abreu et al. 2007). De acordo com Dechen e Nachtigall (2006), solos arenosos e lixiviados podem também apresentar baixos teores desse micronutriente

Para que os nutrientes estejam com teores adequados no solo, é importante a avaliação da fertilidade do solo, desse modo é possível estimá-la e corrigi-la.

Conceitualmente, fertilidade do solo é a capacidade do solo em fornecer nutrientes as plantas durante o seu crescimento e desenvolvimento. A ideia de tempo é importante, pois, desta forma, considera-se também a quantidade do nutriente adsorvido aos colóides do solo, fator quantidade (Q) que podem repor o nutriente em solução e o fator intensidade (I). Operacionalmente nutriente disponível no solo é o teor do nutriente recuperado (extraído) por um método de extração que se correlaciona estreitamente com a quantidade de nutriente absorvido pela planta (Bray, 1948; Alvarez V., 1996,).

Sendo assim, surge o conceito de extrator, que é uma solução composta por diferentes componentes químicos que extrai do solo uma quantidade de nutrientes que apresenta estreita correlação com a quantidade absorvida e acumulada pela planta. Essas soluções extraem fração das formas químicas dos nutrientes no solo que são potencialmente absorvidas pelas plantas (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} e Cu^{2+}) ou que podem ser prejudiciais a elas (Al^{3+}).

O mecanismo de ação dos extratores para remover do solo as formas químicas dos elementos pode ser, por exemplo, por reação de troca simplesmente (solução de KCl 1mol/L e acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7), reação de dissolução, solubilização e de troca como é o caso de soluções ácidas como o Mehlich-1.

Para a escolha do extrator que irá estimar a disponibilidade dos nutrientes no solo são realizados estudos de correlação e de calibração. Nos primeiros estudos são testados diferentes extratores, e são selecionados os que melhor se aproximam do método padrão, que é a quantidade absorvida e acumulada pelas plantas. Posteriormente são definidas as doses recomendáveis do nutriente a serem adicionadas ao solo e os níveis críticos. A maioria dos laboratórios brasileiros utilizam o extrator Mehlich-1 e DTPA na determinação dos micronutrientes.

A busca de alternativa que permita conciliar a necessidade de extrair proporções maiores das formas trocáveis, dos micronutrientes sem, porém, dissolver as formas não trocáveis levou a utilização de processos de extração com a participação de compostos complexantes dos metais, portanto, aplicáveis aos micronutrientes catiônicos (Raij e Bataglia 1991). Dessa forma, Lindsay e Norvell (1978) descreveram um método de extração de micronutrientes catiônicos utilizando o complexante DTPA.

O Mehlich-1 inicialmente foi desenvolvido para extrair P, K, Ca, Mg, Na e NH_4^+ (Mehlich, 1953). Entretanto, segundo Cantarella et al. (1994); na década de 80 aproximadamente 50 % dos laboratórios de análise de solo em atividade no Brasil, utilizavam esse extrator para micronutrientes. O Mehlich-1 é um extrator ácido (HCl 50 mmol/L + H_2SO_4 12,5 mmol/L), e a sua ação se baseia na solubilização pelo efeito da acidez (pH na faixa de 1,2) . É por meio dela que esse extrator consegue dissolver carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados, provocando dissolução parcial de minerais de argila silicatadas (Pickering, 1981).

É importante ressaltar que os solos cultivados não são os mesmos de 30 anos atrás, uma vez que, para aumentar a produtividade, o agricultor tem adicionado corretivos e fertilizantes com frequência, alterando a CTC e a acidez do solo, o que influencia na disponibilidade de micronutrientes.

Além disso, essas novas condições não favorecem a utilização do extrator Mehlich-1, principalmente na determinação de P nos solos brasileiros.

O Mehlich-3 foi proposto para extrair dos solos simultaneamente Ca, Mg, P, K, B, Fe, Mn, Zn, Cu e Na. Sua aplicabilidade no Brasil é bem reduzida, mas, mesmo assim, ele é considerado um dos métodos mais apropriado e econômico já que, consegue determinar vários elementos (Tran et al. 1990). Logo, o Mehlich-3 pode vir a ser utilizado em análises de rotina na determinação de micronutrientes, já que promissor para as determinações desses e de outros nutrientes (Bortolon e Gianello, 2009; Bortolon e Gianello, 2010; Faria et al., 2012; Reis, 2016).

Os objetivos deste trabalho foram comparar a capacidade preditiva do Mehlich-3, Mehlich-1 e DTPA quanto à disponibilidade de micronutrientes catiônicos, em diferentes solos, determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação de micronutrientes catiônicos pelas plantas e pelos extratores em cada solo, bem como correlacionar os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu obtidos por esses métodos com os conteúdos de cada micronutriente na parte aérea das plantas de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A., LOPES, A.S e SANTOS, G.C.G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F. ALVAREZ V., V.H. BARROS, N.F. FONTES, R.L.F. CANTARUTTI, R.B. e NEVES, J.C.L., editores. Fertilidade do Solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2007; p.646-736
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análises de solo. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F., editores. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.615-646.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.25-32.
- BRAY, R.H. Requirements for successful soils tests. Soil Sci., 1948, 66:83-89.
- Bataglia, O.C.; Raij, B.van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. R. Bras. Ci. Solo, 13(2):205-212, 1989.
- BORTOLON, L. GIANELLO, C. Extração de cobre e de zinco por soluções multielementares em solos do sul do Brasil. R. Sc. Agraria. 2010; 40:670-673.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Disponibilidade de cobre e zinco em solos do sul do Brasil. R. bras. Ci. Solo. 2009; 33:647-658.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JUNIOR, D. A análise de solo no Brasil 1982-1989. Campinas, Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994; 19:96-112.
- DECHEN, A.R. e NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S, editor. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006; p.328-354.
- FARIA, A.F. ALVAREZ V., V.H. MATTIELLO, E.M. NEVES, J.C.L. BARROS, N.F. PAIVA, H.N. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais. Spanish Journal of Soil Science. 2012; 2:26-37.
- LINDSAY, W.L., NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America, 1978, 42:421-428.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1995, 889p.
- MEHLICH A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH⁴⁺ by North Carolina Soil Testing Laboratories. Raleigh, University of North Carolina, 1953 (não publicado).

PICKERING, W.F. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. 1981. Crit. Rev. Chem., 12: 233-266.

RAIJ, B.V., BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na Agricultura. 1991. Piracicaba: PATAFOS/CNPQ.

REIS, J.V. Potencial do extrator Mehlich-3 na avaliação da disponibilidade de fósforo de diferentes solos. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2016.

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

CAPÍTULO 1

DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANGANÊS, ZINCO E COBRE DE TRÊS SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS CULTIVADOS COM MILHO, QUANDO AS DOSES DOS MICRONUTRIENTES FORAM APLICADAS CONCOMITANTEMENTE

RESUMO

Para escolher o extrator que irá estimar a disponibilidade dos nutrientes no solo são realizados estudos de correlação e de calibração. Nos estudos de correlação são testados diferentes extratores, e selecionado aquele que melhor se correlaciona com o método padrão, que é a quantidade absorvida pelas plantas. Este trabalho teve os seguintes objetivos: comparar a capacidade preditiva de Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA quanto à disponibilidade de micronutrientes catiônicos em três solos; determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação de micronutrientes catiônicos pelas plantas e pelos extratores em cada solo. Para isso foi instalado um experimento em casa de vegetação com o seguinte fatorial 3×6 , correspondendo a três solos e seis doses dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu que foram aplicadas concomitantemente nos três solos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Foram utilizadas as seguintes doses de Fe (0,0; 20,0; 40,0; 80,0; 120,0 e 200,0 mg/dm³); Mn (0,0; 15,0; 30,0; 60,0; 90,0 e 120,0 mg/dm³); Zn (0,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0 e 50,0 mg/dm³) e de Cu (0,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12,0 e 20,0 mg/dm³). As fontes de cada micronutriente foram as seguintes: FeCl₃.6H₂O, MnCl₂.4H₂O, Zn(NO₃)₂.6H₂O e Cu(NO₃)₂.3H₂O. As unidades experimentais foram vasos plásticos contendo 2,0 dm³ de solo com quatro plantas de milho. O experimento foi colhido com 33 d após a germinação das plantas. Os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu foram determinados por três extratores, M1, M3 e DTPA. Os níveis críticos de Fe em média nos três solos utilizados nesta pesquisa para o desenvolvimento das plantas de milho foram 158,83; 128,63 e 16,85 mg/dm³ pelos extratores M1, M3 e DTPA. Os níveis críticos de Mn foram em média de 40,18 mg/dm³ pelo M1, 35,94 mg/dm³ pelo M3 e 16,34 mg/dm³ pelo DTPA. Para o Zn os valores dos níveis críticos foram 10,50; 8,49 e 5,20 mg/dm³ pelos mesmos três extratores. Para o Cu o M1 apresentou um nível crítico de 4,17 mg/dm³, o M3 de 3,42

mg/dm³ e o DTPA no valor de 2,04 mg/dm³. As menores taxas de recuperação dos quatro micronutrientes ocorreram no DTPA e as maiores no M1. Os teores dos quatro micronutrientes recuperados pelos extratores M1 e M3 são altamente correlacionados entre si. Não existiu correlação entre os teores de Fe recuperados com o M1 com o conteúdo desse micronutriente na planta de milho. O DTPA foi o mais eficiente para avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho. Os três extratores apresentaram capacidade de avaliar a disponibilidade de Mn, Zn e de Cu bem próximas, tendo o M3 uma ligeira vantagem.

1. INTRODUÇÃO

A grande maioria dos solos brasileiros são excessivamente intemperizados, apresentando elevada acidez, baixa CTC e baixa fertilidade natural, necessitando, portanto, do uso de corretivos e fertilizantes para a obtenção de elevadas produtividades agrícolas.

Deficiências de micronutrientes não constituía um problema maior no passado, pois o próprio solo era capaz de suprir as demandas das plantas pelos micronutrientes. Contudo o uso de formulados cada vez mais concentrados, adoção de práticas de correção da acidez do solo e exportação dos micronutrientes pelas culturas, tem provocado deficiências nutricionais nas plantas, fazendo-se necessárias pesquisas relacionadas a esse assunto.

Para a determinação dos micronutrientes em solos brasileiros, o extrator Mehlich-1 (M1) é o mais utilizado no Brasil, porém, alguns estados como o de São Paulo, utilizam o DTPA, em seus laboratórios de rotina na determinação de micronutrientes catiônicos.

Diversos pesquisadores têm estudado a possibilidade de substituir os extratores convencionais pelo Mehlich-3 (M3) nas análises de rotinas de solo (Bortolon e Gianello, 2009; Bortolon e Gianello, 2010; Faria et al., 2012; Reis 2016). Sendo que este extrator, já está sendo utilizado em várias instituições de pesquisas (Milagres et al., 2007). Entretanto, se faz necessária a calibração dos valores obtidos por este método de extração com o rendimento das culturas numa determinada região (Mallarino, 2003), pois a confiabilidade da recomendação de micronutrientes passa necessariamente por três informações importantes: o teor do micronutriente disponível no solo, o seu nível crítico e a declividade da reta que relaciona o teor desse micronutriente recuperado por um determinado extrator em função de suas doses aplicadas (Alvarez V. 1996), taxas de recuperação do extrator.

Os procedimentos analíticos devem ser patronizados para evitar resultados inexatos que podem ser interpretados inadequadamente, já que, muitas vezes se desconhece a sensibilidade dos métodos de extração e as diferentes capacidades tampão dos solos em que são realizados os estudos (Ortiz et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade do extrator M3 em prever a disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Cu, em três solos; tendo como

referência os extratores M1 e DTPA e o conteúdo dos micronutrientes nas plantas de milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzindo em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFV. Utilizou-se nesta pesquisa três solos (Quadro 1), suas amostras foram coletadas, secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras com malha de 4 mm. Depois subamostras foram submetidas à caracterização física (Quadro 2) e química (Quadro 3).

Quadro 1. Classificação e procedência dos três solos utilizados

Solo	Classificação	Procedência
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA1	Três Marias-MG
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA2	Viçosa-MG
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA3	Viçosa-MG

Quadro 2. Características físicas dos solos

Solo	DS ^{1/}	EU ^{2/}	Areia grossa	Areia fina	silte	argila	Classificação textural ^{3/}
	kg/dm ³	kg/kg	-----%-----				
LVA1	1,26	0,087	17,7	60,4	1,7	20,1	Franco-Argilo-Arenosa
LVA2	1,05	0,275	19,3	12,7	6,5	61,5	Muito Argilosa
LVA3	1,05	3,18	11,3	9,2	3,0	76,5	Muito Argilosa

^{1/} Densidade do Solo. ^{2/} Equivalente de Umidade. ^{3/} Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Quadro 3. Características químicas dos três solos

Características	LVA1	LVA2	LVA3
^{1/} pH água 1:2,5	5,50	4,81	4,99
^{2/} Prem, mg/L	21,9	13,1	12,8
^{3/} Mat. Orgânica g/kg	25,0	17,7	39,0
^{4/} Fe, mg/dm ³	80,08	98,61	39,87
^{4/} Mn, mg/dm ³	6,16	6,57	0,47
^{4/} Zn, mg/dm ³	0,28	1,19	0,13
^{4/} Cu, mg/dm ³	0,32	1,92	0,31
^{4/} P, mg/dm ³	0,5	0,9	1,2
^{4/} K, mg/dm ³	17,0	7,0	9,0
^{5/} Ca ²⁺ , cmol _c /dm ³	0,08	0,65	0,01
^{5/} Mg ²⁺ , cmol _c /dm ³	0,0	0,02	0,04
^{5/} Al ³⁺ , cmol _c /dm ³	0,16	0,7	1,3
^{6/} H+Al, cmol _c dm ³	2,1	4,1	9,5
CTC a pH 7, cmol _c /dm ³	2,20	4,89	9,80
CTCefetiva, cmol _c /dm ³	0,28	1,39	1,30
V, %	5,5	14,0	0,9
m, %	57,8	50,4	100,0

^{1/} pH em água, relação 1:2,5, ^{2/} Alvarez V. et al., (2000), ^{3/} Matéria Orgânica do Solo, Walkley-Black ^{4/} Extrator Mehlich-1, relação 1:10, ^{5/} Extrator KCl 1,0 mol/L, relação 1:10, ^{6/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L, pH 7,0, relação 1:15.

A estrutura do experimento foi constituída da combinação fatorial 3 × 6, correspondendo a três solos e seis doses dos micronutrientes catiônicos Fe, Mn, Zn e Cu, que foram aplicadas em cada solo (Quadro 4). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de vasos plásticos contendo 2,0 dm³ de cada solo, onde foram cultivadas quatro plantas de milho (*Zea mays* L.).

Quadro 4. Níveis e doses de Fe, Mn, Zn e Cu aplicadas concomitantemente aos três solos do Estado de Minas Gerais

Nível	Dose			
	Fe	Mn	Zn	Cu
	-----mg/dm ³ -----			
0,00	0	0	0	0
0,25	20	15	5	2
0,50	40	30	10	4
1,00	80	60	20	8
1,50	120	90	30	12
2,50	200	150	50	20

Os solos foram corrigidos para neutralizar o Al³⁺ e elevar o valor de V. Para isso utilizou-se uma mistura corretiva (CaCO₃ e MgCO₃ na razão molar de Ca:Mg 4:1), que foi aplicada em 2,3 dm³ de cada solo em cada unidade experimental. Os

solos ficaram incubados por 15 d na casa de vegetação com a umidade do solo mantida em 80 % da capacidade de campo, que foi estimada a partir do Equivalente de Umidade segundo Ruiz et al. (2003).

Decorridos 15 d após a aplicação do corretivo foram aplicadas as doses dos micronutrientes (Quadro 4) utilizando as fontes $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ e incubadas novamente por 7 d. Após este período foi realizada uma amostragem de cada solo ($0,3 \text{ dm}^3$) para a determinação dos quatro micronutrientes pelos extratores M1, M3 e DTPA. Nestas amostras foram determinadas também o pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al^{3+}) e os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Quadro 5). O restante do solo, $2,0 \text{ dm}^3$ foram colocados nos vasos para o cultivo de milho.

Quadro 5. Valores de pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al^{3+}) e teores de cálcio e magnésio trocáveis nas amostras dos três solos após a incubação com o calcário

Solo	^{1/} pH	^{2/} H+Al	^{3/} Al^{3+}	^{3/} Ca^{2+}	^{3/} Mg^{2+}
	cmol/dm ³			
LVA1	5,89	1,34	0,05	1,66	0,34
LVA2	5,77	2,50	0,05	2,35	0,41
LVA3	6,19	0,94	0,05	3,67	0,58

^{1/} pH em água, relação 1:2,5, ^{2/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L , pH 7,0, relação 1:15, ^{3/}Extrator KCl 1,0 mol/L, relação 1:10.

Sete sementes de milho híbrido foram semeadas em cada unidade experimental e, após desbastes, foram cultivadas quatro plantas.

No plantio foi aplicado em todo o volume do solo, doses de P e de S de acordo com o P remanescente de cada solo, segundo Alvarez V. et al. (2000). No LVA1 aplicou-se 410,0 e 97,6 mg/dm³ de P e S respectivamente. No LVA2 e LVA3 foram aplicadas 480,0 e 97,6 mg/dm³ de P e S. Também foi aplicada uma dose de 100 e 150 mg/dm³ de N e K respectivamente. Após o plantio, semanalmente, foi aplicado uma dose de 50 mg/dm³ de N realizando o rodízio dos vasos dentro de cada bloco. Aplicou-se 0,81 mg/dm³ de B e 0,15 mg/dm³ de Mo de acordo Novais et al. (1991). A fonte de B foi o H_3BO_3 e de Mo o $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. A umidade dos solos nos vasos foi mantida próxima a 80 % da capacidade de campo por meio de irrigações diárias na parte superior dos vasos.

A parte aérea das plantas foi colhida aos 33 d após a emergência. Elas foram secas em estufa de circulação de ar a 70 °C por 72 h. As plantas foram pesadas,

trituras em moinho tipo Wiley. Amostras foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados Fe, Mn, Zn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica.

As amostras de solo coletadas após a incubação com as doses dos micronutrientes foram submetidas aos seguintes métodos de análise: M1, M3 e DPTA.

Na extração com o M1 (HCl 50 mmol/L + H₂SO₄ 12,5 mmol/L) e com o M3 (HOAc 0,2 mol/L, NH₄NO₃ 0,25 mol/L, NH₄F 15 mmol/L, HNO₃ 13 mmol/L e Na₂EDTA 1 mmol/L) foi utilizada a relação solo:solução 1:10 (5 cm³ de solo e 50 mL de extrator) com agitação durante 5 min e repouso por 16 h.

A extração com DTPA-TEA pH 7,3 (DTPA 5 mmol/L trietanolamina (TEA) 0,1 mol/L e CaCl₂ 10 mmol/L) utilizou-se a relação solo:solução 1:2 (20 cm³ de solo com 40 mL de extrator), com agitação durante 2 h seguida de filtração lenta em papel de filtro.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em seguida, foram ajustados modelos de regressão relacionando a produção de matéria seca em função dos níveis do fertilizante multimicronutriente. Foram obtidas também equações dos teores recuperados dos micronutrientes com os extratores em função das doses adicionadas. Para isso, utilizou-se o SISVAR 5.6. Escolheram-se os modelos que possuíam os coeficientes de regressão significativos até o nível de 10 %.

Para obter as doses dos micronutrientes que condicionam 95 % da produção máxima para cada solo, fez-se a primeira derivada das equações de produção de matéria seca em função das doses adicionadas dos quatro micronutrientes igualando-a a zero, o valor encontrado foi a dose de micronutrientes (mg/dm³) necessária para atingir a produção máxima física, a produção de “máxima eficiência econômica” foi a correspondente a de 95 % da produção máxima física. Para obter os níveis críticos de Fe, Mn, Zn e Cu para cada solo, realizou-se a substituição dos valores das doses recomendáveis dos micronutrientes nas equações dos teores de Fe, Mn, Zn e Cu recuperados em função das doses de micronutrientes adicionadas. Para avaliar a capacidade preditiva dos extratores quanto à disponibilidade dos micronutrientes, foram feitas correlações lineares simples entre os teores dos micronutrientes recuperados pelos extratores com o conteúdo deles na parte aérea das plantas de milho.

A taxa de recuperação de cada micronutriente pela planta foi calculada da seguinte maneira, exemplo para o Fe:

$$trFe_{PI} = (cFe_{DRFe} - cFe_{D0}) / drFe$$

onde:

$trFe_{PI}$ = taxa de recuperação de Fe pela planta;

cFe_{DRFe} = conteúdo de Fe obtido pela dose recomendável de Fe;

cFe_{D0} = conteúdo de Fe obtido pela dose zero de Fe;

$drFe$ = dose recomendável de Fe.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho

A maior produção média de matéria seca obtida em função dos níveis dos quatro micronutrientes que variaram nos três solos ocorreu nas plantas de milho cultivadas no LVA2 (Quadro 6). Essa maior produção ocorreu porque esse solo tinha os maiores teores iniciais dos quatro micronutrientes (Quadro 3) e também porque o seu pH após a aplicação do calcário foi o menor entre os três solos (Quadro 5). Assim a disponibilidade dos micronutrientes no LVA2 foi maior para as plantas.

Por conterem os menores teores iniciais dos quatro micronutrientes (Quadro 3) as plantas cultivadas no LVA3 não apresentaram um crescimento satisfatório na aplicação da menor dose dos micronutrientes (Quadro 6). O menor crescimento do milho cultivado no LVA3 se deu aos altos teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3) presente nesse solo. Os altos teores de argila e de MO aumenta a adsorção dos micronutrientes, reduzindo assim, a disponibilidade dos micronutrientes para o milho cultivado no LVA3. Outro fator que diminuiu a disponibilidade dos micronutrientes para o milho plantado no LVA3 foi o pH desse solo, o maior, entre os três solos utilizados na pesquisa (Quadro 5).

Num primeiro momento, pode-se pensar que as plantas cultivadas no LVA1 fossem as que apresentariam as maiores produções de matéria seca, uma vez que, dentre os solos, ele é o que possui os menores teores de argila (Quadro 2). Esse menor teor de argila poderia reduzir a adsorção dos micronutrientes em

comparação com os outros dois solos, aumentando a disponibilidade desses micronutrientes para as plantas. Porém, este fato não ocorreu, haja vista que em média este solo foi o que obteve a menor produção de matéria seca (Quadro 6).

Por serem requeridos em pequenas quantidades, geralmente os teores dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu encontrados no solo são adequados para o desenvolvimento das plantas. Foi o caso do estudo realizado por Rodrigues (2009), que não encontrou respostas de mudas de eucalipto à aplicação de Zn e de Cu em seis solos de Minas Gerais.

Quadro 6. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (*mMS_PA*) em função dos níveis do fertilizante multimicronutriente (*nFMMi*) em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	<i>nFMMi</i>						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	-----g/vaso-----						
LVA1	7,14	12,98	11,28	10,40	7,64	6,83	9,38
LVA2	11,88	15,28	14,52	14,58	10,80	10,56	12,94
LVA3	2,58	10,97	10,98	11,75	11,64	11,06	9,83
Média	7,20	13,07	12,26	12,24	10,03	9,48	10,71

^{1/}O *nFMMi* 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

A regressão que melhor se ajustou à produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho em função dos níveis do fertilizante multimicronutriente nos três solos foi a raiz quadrada (Quadro 7).

Quando não houve aplicação de nenhum micronutriente, as plantas cultivadas no LVA3 exibiram a menor produção de matéria seca, porque este solo é o que tinha os menores teores iniciais dos quatro micronutrientes (Quadro 3). Além disso, como possui os maiores teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3), a adsorção dos micronutrientes no LVA3 foi maior se comparada com a dos outros dois solos, diminuindo a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas. Outro fator relevante é o pH. Em condições de pH acima de 5,50 a disponibilidade de micronutrientes diminui, e o LVA3 apresentou um pH superior a 5,5, após a aplicação do calcário (Quadro 5). A produção de máxima eficiência econômica foi simulada considerando a de 95 % da produção máxima física, ela variou de 10,24 a 13,11 g/vaso entre os solos (Quadro 7).

As doses que condicionaram a produção de máxima eficiência econômica variaram entre os solos da seguinte forma: para o Fe, de 12,84 a 106,17 mg/dm³;

para o Mn de 9,63 a 79,63 mg/dm³; para o Zn de 3,21 a 26,54 mg/dm³ e a para o Cu variou de 1,28 a 10,62 mg/dm³ (Quadro 8).

O LVA3 necessitou das maiores doses dos quatros micronutrientes para que as plantas atingissem 95 % da produção máxima (Quadro 8). Isso reflete a menor disponibilidade dos micronutrientes no LVA3 devido ao seu maior teor de argila e de MO, além dos baixos teores iniciais desses quatro micronutrientes.

Pelos modelos de regressão, na dose zero dos quatro micronutrientes, os solos LVA1 e LVA3 produziram respectivamente 7,86 e 3,04 g/vaso. Com aplicação das doses dos quatro micronutrientes nesses dois solos (Quadro 8), a produção aumentou 27,3 % no LVA1 e 74,2 % no LVA3.

Quadro 7. Equações de regressão para a produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (*mMS_PA*) (\hat{y} , g/vaso) em função dos níveis do fertilizante multimicronutriente (*nrFMMi*), 95 % da produção máxima (0,95- \hat{y} máx) e níveis recomendáveis do fertilizante multimicronutriente (*nrFMMi*) que condicionaram estas produções em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Equação	R ²	0,95- \hat{y} máx g/vaso	<i>nrFMMi</i>
LVA1	$\hat{y} = 7,86 + 7,102^{***} x^{0,5} - 3,586^{***} x$	0,740	10,24	0,350
LVA2	$\hat{y} = 12,26 + 5,035^{***} x^{0,5} - 2,751^{***} x$	0,742	13,11	0,161
LVA3	$\hat{y} = 3,04 + 12,045^{***} x^{0,5} - 3,882^{***} x$	0,952	11,14	1,327

***. Significativo a 0,1 %.

Quadro 8. Níveis do fertilizante multimicronutriente (*nrFMMi*) e doses de Fe, Mn, Zn e de Cu (mg/dm³) que condicionaram 95 % da produção máxima para cada solo de acordo com os níveis recomendáveis de fertilizante multimicronutriente (*nrFMMi*)

Solo	<i>nrFMMi</i>	dose			
		Fe	Mn	Zn	Cu
-----mg/dm ³ -----					
LVA1	0,350	28,03	21,03	7,01	2,80
LVA2	0,161	12,84	9,63	3,21	1,28
LVA3	1,327	106,17	79,63	26,54	10,62

3.2. Teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos

Como possuem diferentes mecanismos de extração, era de se esperar que os três extratores utilizados nesta pesquisa não iriam extrair as mesmas quantidades de Fe (Quadro 9).

Os extratores com maior acidez (pH_M1= 1,2; pH_M3= 2,3) extraíram os maiores teores de Fe (Quadro 9). Aspiazú (2003) realizou uma pesquisa em casa

de vegetação com solos de Minas Gerais e da Bahia. Este autor aplicou doses crescentes de Fe nesses solos e realizou a extração com o M1, M3 e o DTPA. Observou que tanto M1 quanto M3 extraíram teores similares de Fe, enquanto o DTPA foi o extrator que recuperou os menores teores desse micronutriente. Silva et al. (2004) procuraram definir extratores e métodos para análise de Fe em solos do Estado do Paraná cultivados com soja. Esses autores testaram diferentes relações solo:extrator para M1 (1:5 ou 1:10), M3 (1:10) e DTPA (1:2). Os autores constataram que houve equivalência na extração do Fe entre os três extratores. Rodrigues et al. (2001) compararam esses mesmos extratores na determinação do Fe em solos da Amazônia. Neste trabalho, o extrator M3 extraiu maiores teores de Fe que o M1 e o DTPA e, o mais importante, o M3 teve os melhores coeficientes de correlação entre os teores disponíveis de Fe com o conteúdo de Fe na planta.

Como o M1 é o extrator mais ácido ele consegue extrair outras formas de Fe que o M3 e o DTPA não extraem. Apesar de ocorrer também o fenômeno de troca na determinação de Fe pelo extrator M1, a sua ação solubilizadora possui maior destaque. É por meio dela que o M1 consegue dissolver carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados e provocar dissolução parcial de minerais de argila silicatadas (Pickering, 1981).

A ação solubilizadora do M3 é menor da do M1, e assim, os fenômenos de complexação e de troca tem mais peso na determinação do Fe. A presença do EDTA na sua composição permite que o extrator M3 extraia o Fe por complexação. E o fenômeno de troca ocorre devido principalmente a presença de NH_4^+ nos NH_4F e NH_4NO_3 .

O mecanismo de extração mais importante do extrator DTPA é a complexação. A atividade dos íons de Fe em solução é reduzida devido à formação de complexos solúveis. Para que possam manter a atividade em solução, esses íons são dessorvidos dos sítios de troca ou dissolvidos das fases sólidas. Como o seu pH é próximo ao do solo durante a extração, ele não solubiliza os compostos de Fe.

Como possui maior poder de extração de Fe em relação aos outros dois extratores utilizados nesta pesquisa, o M1 pode ter extraído formas desse micronutriente que as plantas de milho não teriam acesso durante o tempo de cultivo neste estudo. Isso pode vir a ser um obstáculo em termos de uso de um

extrator para fins de análises de solo, pois, o que se deseja de um extrator é que ele extraia do solo uma quantidade de nutrientes que apresenta estreita correlação com a quantidade absorvida pela planta e acumulada nela.

Os teores de Fe recuperados nos três solos oscilaram, em média com o M1 de 156,63 a 214,19 mg/dm³, com o M3 de 129,12 a 183,45 mg/dm³ e de com o DTPA 14,57 a 60,66 mg/dm³.

Geralmente na extração de P pelo M1, esse extrator recupera os menores teores disponíveis de P nos solos mais tamponados, pelo maior desgaste sofrido pelo M1. Entretanto, nesta pesquisa, isso não foi observado para o Fe, pois os maiores teores de Fe recuperados pelo M1 ocorreram no LVA3 (Quadro 9), que é o solo com os maiores teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3). Na extração do Fe pelo DTPA, os maiores teores de Fe foram recuperados no LVA1, e os menores no LVA3, respectivamente o menos e o mais tamponado. Esses resultados indicam que o DTPA é mais sensível a capacidade tampão.

Quadro 9. Teores de Fe disponíveis pelos extratores Mehlich-1 (*tdFe_M1*), Mehlich-3 (*tdFe_M3*) e DTPA (*tdFe_DTPA*) em função das doses de Fe aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Dose de Fe (mg/dm ³)						Média
	0	20	40	80	120	200	
	<i>tdFe_M1</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	104,17	120,16	119,29	143,47	179,31	273,37	156,63
LVA2	148,73	152,47	167,15	184,48	212,31	285,93	191,85
LVA3	185,13	174,41	198,90	186,68	224,74	315,30	214,19
Média	146,01	149,01	161,78	171,54	205,46	291,53	187,56
	<i>tdFe_M3</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	63,98	75,67	95,32	126,98	164,93	247,86	129,12
LVA2	135,62	144,06	161,06	179,59	210,52	269,84	183,45
LVA3	153,59	147,10	159,96	161,53	153,62	235,37	168,53
Média	117,73	122,28	138,78	156,03	176,36	251,02	160,37
	<i>tdFe_DTPA</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	10,92	19,71	30,72	55,38	90,14	157,08	60,66
LVA2	9,62	15,28	22,72	42,80	65,15	113,59	44,86
LVA3	4,02	5,38	6,73	9,53	17,44	44,32	14,57
Média	8,19	13,46	20,06	35,90	57,58	105,00	40,03

Nos três extratores o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados dos teores recuperados de Fe em função das doses adicionadas desse

micronutriente para os solos LVA1 e LVA2. Para o LVA3, o melhor modelo ajustado foi o quadrático (Quadro 10). Os solos em estudo possuem diferentes capacidades tampão de Fe (diferentes teores de argila e de MO). Além disso, esses solos apresentaram para os três extratores diferenças nas declividades das equações entre o recuperado e o adicionado para este micronutriente.

O M1 conseguiu extrair os maiores teores de Fe, nos três solos, já que os interceptos das equações dos teores recuperados em função das doses adicionadas foram sempre maiores em comparação aos valores dos interceptos das equações do M3 e do DTPA (Quadro 10). As diferenças nos valores desses interceptos nas equações que relacionam os teores de Fe recuperados em função das doses adicionadas foram de acordo com os teores iniciais de Fe nos três solos.

Os menores níveis críticos de Fe foram obtidos com o DTPA e os maiores com o M1, aquele com menor poder de extração e este com maior poder de extração de Fe.

Os maiores níveis críticos de Fe ocorrem no LVA3 (Quadro 10). Ele é o solo mais argiloso (Quadro 2), demanda maior aplicação de Fe, já que possui elevada capacidade de adsorção de Fe. Porém, para o extrator DTPA, o maior nível crítico de Fe ocorreu no solo mais arenoso.

O LVA3 apresenta uma capacidade de troca catiônica (CTC) quase cinco vezes maior que a do LVA1 e duas vezes maior que a do LVA2 (Quadro 3). Isso pode ter relação com o fato de o nível crítico de Fe obtido pelo M1 no LVA3 ter sido bem maior que os nos solos LVA1 e LVA2, e os níveis críticos desses dois últimos solos ficarem mais próximos (Quadro 10).

Com os extratores M3 e DTPA, os valores de níveis críticos de Fe encontrados nos solos LVA2 e LVA3 ficaram mais próximos um do outro e mais distantes do LVA1 (Quadro 10).

Os níveis críticos de Fe, obtidos com o extrator M1 nos três solos estão acima do proposto por Alvarez et al. (1999) para os solos de Minas Gerais, que é de 30 mg/dm³ (Quadro 10). Esses resultados sugerem que todos os solos em estudo possuíam teores de Fe para atingir boas produções. Os níveis críticos de Fe obtidos neste estudo estão em média 81,1 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999).

O solo LVA2 apresentou um valor de nível crítico de Fe pelo extrator DTPA abaixo do valor proposto por Raij et al. (1997) para os solos de São Paulo, que é de 12,0 mg/dm³ de Fe (Quadro 10).

O extrator M1 é composto por dois ácidos em concentrações baixas (H₂SO₄ 12,5 mmol/L + HCl 50 mmol/L), o seu principal mecanismo de extração é por solubilização e troca iônica. Devido à ação solubilizadora, o M1 consegue acessar parte do Fe complexado, precipitado e adsorvidos nos óxidos de Fe e de Al (Raij e Bataglia 1991).

As taxas de recuperação dos teores de Fe pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 59,0 %; 54,4 % e 45,4 % do Fe adicionado. Aspiazú (2003) aplicou doses crescentes de Fe em solos de Minas Gerais e da Bahia. Este autor encontrou taxas de recuperação de Fe de 40,9 %, 23,8 % e 193 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

As menores taxas de recuperação de Fe foram encontradas no LVA3 (Quadro 10), que apresenta os maiores teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3). Essas características dificultaram a extração de Fe no LVA3, uma vez que, o Fe pode estar fortemente ligado aos minerais de argila e formar ligações estáveis com a MO. Seria esse o motivo do LVA3 apresentar em geral as menores taxas de recuperação de Fe entre os três solos para todos os métodos de extração (Quadro 10). Esse resultado é diferente do obtido com o LVA1, que apresentou as maiores taxas de recuperação de Fe pelos três métodos de extração (Quadro 10), por possuir os menores teores de argila (Quadro 2).

Houve uma tendência de as taxas de recuperação de Fe nos solos LVA1 e LVA2 serem mais próximas, porém bem mais distantes das encontradas no LVA3 pelos três métodos de extração (Quadro 10).

Quadro 10. Equações dos teores de Fe recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdFe_M1$), Mehlich-3 ($tdFe_M3$) e DTPA ($tdFe_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm^3) em função das doses de Fe (x , mg/dm^3) aplicadas em três solos, nível crítico de Fe e a taxa de recuperação de Fe por Mehlich-1 ($trFe_M1$), Mehlich-3 ($trFe_M3$) e DTPA ($trFe_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm^3	$trFe_M1$
LVA1	$\hat{y} = 93,16 + 0,8279^{***} x$	0,954	116,37	0,828
LVA2	$\hat{y} = 139,20 + 0,6868^{***} x$	0,973	148,02	0,687
LVA3	$\hat{y} = 185,06 - 0,2023^{***} x + 0,0043^{***} x^2$	0,971	212,09	0,255 ^{1/}
	Média		158,83	0,590
	M3			$trFe_M3$
LVA1	$\hat{y} = 58,25 + 0,9244^{***} x$	0,996	84,15	0,924
LVA2	$\hat{y} = 131,84 + 0,6732^{***} x$	0,994	140,48	0,673
LVA3	$\hat{y} = 157,40 - 0,3460^{***} x + 0,0036^{***} x^2$	0,921	161,25	0,036 ^{1/}
	Média		128,63	0,544
	DTPA			$trFe_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = 3,90 + 0,7403^{***} x$	0,991	24,65	0,740
LVA2	$\hat{y} = 4,38 + 0,5280^{***} x$	0,991	11,16	0,528
LVA3	$\hat{y} = 4,89 - 0,024^{***} x + 0,0011^{***} x^2$	0,998	14,74	0,093 ^{1/}
	Média		16,85	0,454

***. Significativo a 0,1 %. ^{1/} Taxa de recuperação diferencial obtida no LVA3 pelo intervalo de $dFe = 0,0 mg/dm^3$ até a dose correspondente a 95 % da produção máxima ($dFe = 0,95 \hat{y}_{máx.}$).

Os teores de Mn recuperados pelos extratores M1, M3 e DTPA aumentaram com as doses de Mn aplicadas nos três solos (Quadro 11). Nos três solos, os teores de Mn oscilaram de 51,65 a 62,63 mg/dm^3 com o M1, de 50,18 a 59,57 mg/dm^3 com o M3 e de 19,67 a 51,46 mg/dm^3 com o DTPA (Quadro 11).

Como aconteceu com a extração do Fe, o DTPA foi o extrator que recuperou os menores teores de Mn. Os maiores teores de Mn foram obtidos com o uso do M1 seguido de perto com o do M3 (Quadro 11).

Abreu et al. (2004) compararam métodos de extração de Mn em 44 amostras de solos do Estado de São Paulo. Notaram que tanto o M1 quanto o M3 extraíram maiores teores de Mn que o DTPA. Esses autores relataram que a maior extração de Mn por esses dois extratores pode ser devida à liberação do Mn que estaria ligado a compostos que contêm Fe, que ocorre durante a extração pois ação solubilizadora do M1 e M3. Essa maior extração de Mn não ocorreria com o DTPA, pois, o seu pH é praticamente inalterado durante a extração do Mn. Uma evidência que pode ter levado o M3 a obter teores de Mn similares ao M1 (Quadro 11) seria a presença do EDTA na sua composição, pois, esse reagente atua como quelante, que forma complexos de Mn, e aumenta o poder de extração desse

extrator. Além disso, as taxas de recuperação de Mn pelo M1 e M3 foram semelhantes (Quadro 12).

No estudo de Aspiazú (2003), em solos do Estado de Minas Gerais e da Bahia, o DTPA também recuperou os menores teores de Mn e o M3, os maiores.

Os maiores teores de Mn recuperados pelos três extratores ocorreu no LVA1, solo com os menores teores de argila (Quadro 2), o que possibilita o Mn ficar mais em solução e menos adsorvido pelos colóides do solo. Os menores teores de Mn foram encontrados nos solos LVA2 e LVA3 (Quadro 11). Isto se deve aos altos teores de argila desses solos e à maior presença de MO no LVA3, que dificulta a extração do Mn por parte dos três extratores, haja vista, que nesses solos, a adsorção de Mn deve ser maior.

Quadro 11. Teores de Mn disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdMn_M1*), Mehlich-3 (*tdMn_M3*) e DTPA (*tdMn_DTPA*) em função das doses de Mn aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Dose de Mn (mg/dm ³)						Média
	0	15	30	60	90	150	
	<i>tdMn_M1</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	9,94	23,71	37,13	63,89	89,21	151,89	62,63
LVA2	9,53	21,35	31,80	54,49	78,12	114,65	51,65
LVA3	2,75	13,15	29,51	55,04	79,31	142,64	53,74
Média	7,41	19,40	32,82	57,81	82,21	136,39	56,01
	<i>tdMn_M3</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	6,19	18,76	32,17	60,79	90,85	148,67	59,57
LVA2	3,83	15,04	28,49	50,74	76,27	126,73	50,18
LVA3	1,23	12,94	27,41	55,57	80,67	135,72	52,26
Média	3,75	15,58	29,36	55,70	82,59	137,04	54,00
	<i>tdMn_DTPA</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	1,70	13,01	24,92	49,99	77,46	141,66	51,46
LVA2	1,34	5,59	10,54	23,66	36,95	67,85	24,32
LVA3	0,38	3,06	8,07	16,83	28,61	61,08	19,67
Média	1,14	7,22	14,51	30,16	47,67	90,20	31,82

O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos três solos aos dados dos teores recuperados de Mn em função das doses adicionadas desse micronutriente (Quadro 12). Pelos valores dos interceptos das equações, observa-se que o DTPA foi o extrator que extraiu os menores teores de Mn e o M1 os maiores (Quadro 12).

Na dose zero de Mn, o LVA3 foi o solo que apresentou os menores teores de Mn recuperados pelos três extratores (Quadro 12), por conter os maiores teores de argila e de MO.

Os teores de argila foi uma das características dos solos responsáveis pela grande variação nos níveis críticos de Mn entre os solos e os extratores (Quadro 12). Em média, os menores níveis críticos de Mn foram obtidos com o extrator DTPA (16,34 mg/dm³) e os maiores com o M1 (40,18 mg/dm³). O DTPA tem o menor e o M1 o maior poder de extração de Mn dos três solos (Quadro 12).

Os maiores níveis críticos de Mn ocorreram no LVA3 (Quadro 12), o solo mais argiloso e com maior teor de MO. Por isso, esse solo necessita de uma maior aplicação de Mn, pois possui elevada capacidade de adsorção de nutrientes. Os valores dos níveis críticos de Mn encontrados nos três solos pelos extratores M1 e M3 ficaram próximos (Quadro 12), em razão desses dois extratores possuírem mecanismos de extração semelhantes (solubilização e troca iônica).

Assim, como aconteceu com o Fe, o LVA2 apresentou um nível crítico de Mn pelo DTPA abaixo do valor proposto por Raij et al. (1997) para os solos de São Paulo, que é de 5 mg/dm³.

As taxas de recuperação de Mn pelos extratores M1 e M3 foram semelhantes nos três solos (Quadro 12). As menores taxas de recuperação de Mn ocorreram pelo extrator DTPA (Quadro 12). Além da natureza ácida, a presença do EDTA e de NH₄⁺ na composição, seriam os responsáveis pelas maiores taxas de recuperação de Mn com o M3. É importante lembrar que o EDTA foi incorporado na composição do M3 para melhorar a recuperação de micronutrientes (Mehlich, 1984).

Nos solos mais argilosos, LVA2 e LVA3, houve as menores taxas de recuperação de Mn, sobretudo com o DTPA (Quadro 12). Nesses solos, como ocorre maior adsorção de Mn, os extratores químicos possuem mais resistência em retirar o Mn em comparação aos solos de textura mais arenosa. Por isso, as taxas de recuperação de Mn são menores (Quadro 12).

As taxas de recuperação de Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 85,8 %; 89,2 % e 59,4 % do Mn adicionado. Aspiazú (2003) aplicou doses crescentes de Mn em solos de Minas Gerais e da Bahia. Esse autor encontrou as seguintes taxas de recuperação de Mn, por M1, M3 e DTPA, respectivamente, 88,2 %, 90,7 % e 69,5 %.

Quadro 12. Equações dos teores de Mn recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdMn_M1$), Mehlich-3 ($tdMn_M3$) e DTPA ($tdMn_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm^3) em função das doses Mn (x , mg/dm^3) em três solos, nível crítico de Mn e a taxa de recuperação de Mn por Mehlich-1 ($trMn_M1$), Mehlich-3 ($trMn_M3$) e DTPA ($trMn_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm^3	$trMn_M1$
LVA1	$\hat{y} = 8,76 + 0,9368^{***} x$	0,998	28,46	0,937
LVA2	$\hat{y} = 11,00 + 0,7070^{***} x$	0,999	17,81	0,707
LVA3	$\hat{y} = 0,34 + 0,9286^{***} x$	0,997	74,28	0,929
	Média		40,18	0,858
	M3			$trMn_M3$
LVA1	$\hat{y} = 4,56 + 0,9568^{***} x$	0,999	24,68	0,957
LVA2	$\hat{y} = 3,09 + 0,8190^{***} x$	0,999	10,98	0,819
LVA3	$\hat{y} = 0,50 + 0,900^{***} x$	0,999	72,17	0,900
	Média		35,94	0,892
	DTPA			$trMn_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = -2,04 + 0,9304^{***} x$	0,995	17,52	0,930
LVA2	$\hat{y} = -1,41 + 0,4476^{***} x$	0,993	2,90	0,448
LVA3	$\hat{y} = -3,52 + 0,4035^{***} x$	0,975	28,61	0,404
	Média		16,34	0,594

***. Significativo a 0,1 %.

Com relação a extração dos teores de Zn pelos três extratores, o M1 e o M3 extraíram teores similares, mas, bem superiores aos recuperados pelo DTPA (Quadro 13). Resultados semelhantes foram encontrados por Menezes et al. (2010), Santos Neto (2003), Nascimento et al. (2002) e Oliveira (1999).

O extrator M1 foi desenvolvido inicialmente para a extração de P em solos ácidos e com baixa CTC. No entanto, em laboratórios de rotina no Brasil ele é o mais utilizado na extração de micronutrientes.

O M1 possui a maior acidez entre os três extratores em estudo. Por isso, possui ligeira superioridade na extração do Zn nos três solos em relação aos outros dois extratores. Entretanto, devido a sua dissolução ácida, o M1, pode acessar formas de Zn que as plantas de milho cultivadas nesses solos não teriam acesso, porque ele pode ter extraído parte do Zn adsorvido na superfície de minerais oxídicos de Fe e de Al.

O M3 apesar de ser menos ácido que o M1, também extrai o Zn devido a sua acidez, mas também o faz por complexação devido a presença do EDTA e por troca iônica com o NH_4^+ . Na extração de Zn por DTPA, o pH desse extrator altera pouco durante a extração. Por isso não ocorre ou ocorre pouca solubilização

de compostos de Zn. Logo, o principal mecanismo de ação do DTPA é a complexação. A atividade do Zn na solução do solo é reduzida, devido a formação de complexos solúveis com o agente quelante DTPA.

O LVA1 apresentou os maiores teores de Zn recuperados entre os extratores (Quadro 13), por possuir os menores teores de argila (Quadro 2). Logo, menos é adsorvido, e mais Zn fica em solução, o que favorece a sua extração. Os menores teores de Zn foram encontrados pelos três extratores no LVA2, solo mais argiloso, onde a adsorção de Zn é maior.

Os solos LVA1 e LVA3 apresentam textura contrastante. O LVA1 tem textura mais arenosa e o LVA3, argilosa (Quadro 2). Entretanto, o M1 extraiu teores de Zn parecidos nos dois solos (Quadro 13). A possível explicação parece resultado deve estar associada à a mineralogia desses solos. Os teores de Zn recuperados com o uso do M3 e do DTPA foram semelhantes entre os solos de textura mais argilosa (Quadro 13).

Quadro 13. Teores de Zn disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdZn_M1*), Mehlich-3 (*tdZn_M3*) e DTPA (*tdZn_DTPA*)) em função das doses de Zn aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Dose de Zn (mg/dm ³)						Média
	0	5	10	20	30	50	
<i>tdZn_M1</i>							
-----mg/dm ³ -----							
LVA1	0,54	4,85	9,41	18,47	27,57	44,80	17,61
LVA2	0,54	4,39	8,84	15,37	21,42	33,77	14,06
LVA3	0,27	4,51	8,35	16,92	23,25	44,02	16,22
Média	0,45	4,58	8,87	16,92	24,08	40,86	15,96
<i>tdZn_M3</i>							
-----mg/dm ³ -----							
LVA1	0,41	4,42	8,68	17,50	27,32	45,11	17,24
LVA2	0,33	3,26	6,98	12,80	19,51	33,43	12,72
LVA3	0,04	3,27	6,49	12,96	18,86	34,25	12,64
Média	0,26	3,65	7,38	14,42	21,90	37,60	14,20
<i>tdZn_DTPA</i>							
-----mg/dm ³ -----							
LVA1	0,28	3,51	7,12	14,90	23,41	40,27	14,91
LVA2	0,16	1,19	2,52	5,98	10,09	17,37	6,22
LVA3	0,04	1,24	3,13	7,43	11,37	21,70	7,48
Média	0,16	1,98	4,26	9,44	14,95	26,44	9,54

O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados dos teores de Zn recuperados com os três extratores químicos em função das doses adicionadas

desse micronutriente nos três solos (Quadro 14). A diferença nos valores dos interceptos das equações do recuperado de Zn em função do Zn adicionado se deve aos diferentes teores iniciais desse micronutriente nos três solos. Em seis equações, os solos apresentaram interceptos negativos (Quadro 14), provavelmente porque ocorreu passagem de formas trocáveis para não trocáveis de Zn.

Na dose zero de Zn, o LVA3 foi o solo que apresentou os menores teores de Zn recuperados pelos três extratores (Quadro 14). O LVA3 é o solo que apresenta maior teor de argila e de MO e o menor teor de Zn inicial entre os três solos (Quadros 2 e 3).

Em geral, os menores níveis críticos de Zn foram obtidos pelo DTPA e os maiores pelo M1 (Quadro 14).

Houve tendência dos menores níveis críticos de Zn ocorrerem no LVA2 (Quadro 14) e os maiores no LVA3. Este solo é o que apresenta os maiores teores de argila e de MO e o maior valor de CTC, que lhe confere capacidade relativamente maior de reter cátions. Além disso, o LVA3 apresentou a maior dose recomendada de Zn dentre os três solos em estudo (Quadro 8).

Os níveis críticos de Zn foram maiores em solos mais argilosos em comparação com os de textura menos argilosa, pois os solos de textura mais argilosa apresentam maior capacidade de adsorção de Zn e necessitam de maior dose desse micronutriente para que as plantas alcancem alta produtividade. Além disso, as taxas de recuperação de Zn pelos extratores em geral foram menores nos solos de textura mais argilosa (Quadro 14). Esses resultados indicam que, existe a necessidade de aplicação de maior dose desse nutriente, pois, nos solos mais argilosos ocorre maior retenção de Zn, diminuindo das plantas ao Zn.

Os níveis críticos de Zn obtidos em cada solo pelo extrator M1 estão acima do valor proposto por Alvarez et al. (1999) que é $1,50 \text{ mg/dm}^3$ para os solos de Minas Gerais (Quadro 14). No caso do DTPA, o LVA2 apresentou nível crítico inferior ao valor proposto para os solos de São Paulo, que é de $1,2 \text{ mg/dm}^3$ (Raij et al., 1997). Os níveis críticos de Zn obtidos neste estudo estão em média 85,7 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999). Já os níveis críticos de Zn obtidos pelo extrator DTPA neste estudo para os três solos, estão em média 76,9 % acima do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

Em média, as menores taxas de recuperação de Zn ocorreram pelo extrator DTPA e as maiores pelo M1 (Quadro 14). Por possuir maior acidez que os demais extratores, o M1 consegue promover o deslocamento de cátions adsorvidos, dissolvendo carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados e provoca a dissolução parcial de argilas silicatadas.

Com base nas declividades médias dos solos, as taxas de recuperação de Zn pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 80,2 %; 74,6 % e 53,2 % do Zn adicionado. Menezes et al. (2010) encontraram os seguintes valores para as taxas de recuperação de Zn em solos de Minas Gerais: M1 (66,0 %), M3 (54,0 %) e DTPA (45,7 %). Rodrigues et al. (2009) trabalhando também com solos de Minas Gerais encontraram as seguintes taxas de recuperação de Zn pelos extratores M1 (92,0 %), M3 (72,0 %) e DTPA (59,0 %).

Quadro 14. Equações dos teores de Zn recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdZn_M1$), Mehlich-3 ($tdZn_M3$) e DTPA ($tdZn_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses de Zn (x , mg/dm³) aplicadas em três solos, nível crítico de Zn e a taxa de recuperação de Zn por Mehlich-1 ($trZn_M1$), Mehlich-3 ($trZn_M3$) e DTPA ($trZn_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm ³	$trZn_M1$
LVA1	$\hat{y} = 0,57 + 0,8891^{***} x$	0,999	6,80	0,889
LVA2	$\hat{y} = 1,44 + 0,6582^{***} x$	0,997	3,20	0,658
LVA3	$\hat{y} = -0,24 + 0,8588^{***} x$	0,994	21,49	0,859
	Média		10,50	0,802
	M3			$trZn_M3$
LVA1	$\hat{y} = -0,04 + 0,9016^{***} x$	0,999	6,34	0,902
LVA2	$\hat{y} = 0,07 + 0,6602^{***} x$	0,999	2,19	0,660
LVA3	$\hat{y} = -0,32 + 0,6767^{***} x$	0,997	16,93	0,677
	Média		8,49	0,746
	DTPA			$trZn_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = -0,54 + 0,8061^{***} x$	0,999	5,11	0,806
LVA2	$\hat{y} = -0,54 + 0,3525^{***} x$	0,995	0,59	0,353
LVA3	$\hat{y} = -0,89 + 0,4366^{***} x$	0,993	9,90	0,437
	Média		5,20	0,532

***. Significativo a 0,1 %.

Como ocorreu para o Zn, o extrator M1 foi ligeiramente superior ao M3 na recuperação do Cu adicionado nas amostras dos três solos. O DTPA recuperou os menores teores de Cu (Quadro 15). Nos três solos, os teores de Cu oscilaram entre 4,98 e 6,51 mg/dm³, com o M1, de 4,08 e 6,42 mg/dm³, com o M3 e de 2,38 e 5,70 mg/dm³ com o DTPA (Quadro 15). Estes resultados estão de acordo com os

obtidos por, Rodrigues (2009), Santos Neto (2003), Nascimento (2001) e Oliveira (1999), onde o extrator M1 conseguiu recuperar os maiores teores disponíveis de Cu e o DTPA os menores.

A superioridade do M1 em extrair maiores teores de Cu do que os outros dois extratores se deve ao seu baixo pH (1,2), que favorece a remoção do Cu, dos sítios de troca e parte daquele complexado ou adsorvido aos óxidos. Logo, o M1 deve ter acessado formas de Cu que não estariam disponíveis para as plantas de milho.

A maior quantidade de Cu extraída pelos extratores ocorreu no solo com os menores teores de argila, que é o LVA1 (Quadro 15). O LVA3 foi o solo com os menores teores de Cu recuperados pelos três extratores (Quadro 15). O LVA3 apresenta a maior quantidade de argila e de MO (Quadros 2 e 3). Logo, pode ocorrer ligações mais estáveis entre o Cu e os colóides nesse solo. Assim, o Cu fica mais adsorvido, o que dificulta a extração pelos extratores.

Quadro 15. Teores de Cu disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdCu_M1*), Mehlich-3 (*tdCu_M3*) e DTPA (*tdCu_DTPA*) em função das doses de Cu aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Dose de Cu (mg/dm ³)						Média
	0	2	4	8	12	20	
	<i>tdCu_M1</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	0,08	1,78	3,54	6,53	10,79	16,30	6,51
LVA2	1,90	3,18	4,63	7,29	8,79	11,10	6,15
LVA3	0,15	1,58	2,93	5,24	7,28	12,72	4,98
Média	0,71	2,18	3,70	6,35	8,95	13,37	5,88
	<i>tdCu_M3</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	0,19	1,68	3,40	6,30	10,47	16,47	6,42
LVA2	1,49	2,63	3,96	5,87	7,54	11,87	5,56
LVA3	0,16	1,30	2,39	4,44	5,85	10,33	4,08
Média	0,61	1,87	3,25	5,54	7,95	12,89	5,35
	<i>tdCu_DTPA</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
LVA1	0,13	1,24	2,67	5,53	9,08	15,54	5,70
LVA2	0,53	0,94	1,47	2,66	3,78	6,18	2,59
LVA3	0,10	0,40	0,81	2,16	3,37	7,44	2,38
Média	0,25	0,86	1,65	3,45	5,41	9,72	3,56

O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados dos teores de Cu recuperados em função das doses adicionadas desse nutriente nos três solos e com os três extratores químicos (Quadro 16).

Como aconteceu para os demais micronutrientes, os menores valores dos interceptos das equações indicam que o DTPA foi o que extraiu os menores teores de Cu e o M1 os maiores, seguido de perto pelo M3, que também pode ser indicado pelas taxas de recuperação (Quadro 16).

Na menor dose de Cu aplicada, o LVA2 foi o solo que apresentou os maiores teores de Cu recuperados pelos extratores (Quadro 16), fato que pode ser corroborado pelas análises realizadas antes da aplicação das doses dos micronutrientes (Quadro 3). Os menores teores de Cu recuperados pelos três extratores foram nos solos LVA1 e LVA3 na dose zero de Cu (Quadro 16). Esses dois solos são os que apresentam os maiores teores de MO, o que aumenta a adsorção de Cu e diminui a disponibilidade de Cu para as plantas.

Os valores de níveis críticos de Cu obtidos com os três extratores tiveram grande variação (Quadro 16). Isso era esperado, uma vez que os extratores em estudo possuem diferentes mecanismos de extração e os solos apresentam diferentes CT. Em geral, os menores níveis críticos de Cu foram obtidos com o DTPA e os maiores com o M1.

Os três solos apresentaram níveis críticos de Cu pelo extrator M1 superior ao valor proposto por Alvarez et al. (1999), que é $1,20 \text{ mg/dm}^3$ para os solos de Minas Gerais (Quadro 16). No solo LVA2 o nível crítico com o uso do DTPA foi semelhante ao valor proposto ($0,8 \text{ mg/dm}^3$) para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

Com base nas declividades médias dos solos, as taxas de recuperação de Cu pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 63,4 %; 61,0 % e 47,8 % do Cu adicionado. Rodrigues (2009) em seis solos mineiros encontrou taxas de recuperação de Cu de 69,0 %, 64,0 % e 61,0 % para os mesmos extratores. Santos Neto (2003), aplicou doses crescentes de Cu em solos de Minas Gerais e da Bahia. Esse autor encontrou taxas de recuperação de Cu de 67,0 %, 61,0 % e 53,0 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 16. Equações dos teores de Cu recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdCu_M1$), Mehlich-3 ($tdCu_M3$) e DTPA ($tdCu_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm^3) em função das doses de Cu (x , mg/dm^3) aplicadas em três solos, nível crítico de Cu e a taxa de recuperação de Cu por Mehlich-1 ($trCu_M1$), Mehlich-3 ($trCu_M3$) e DTPA ($trCu_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm^3	$trCu_M1$
LVA1	$\hat{y} = 0,21 + 0,8217^{***} x$	0,996	2,51	0,822
LVA2	$\hat{y} = 2,59 + 0,4641^{***} x$	0,958	3,19	0,464
LVA3	$\hat{y} = 0,27 + 0,6150^{***} x$	0,998	6,80	0,615
	Média		4,17	0,634
	M3			$trCu_M3$
LVA1	$\hat{y} = 0,09 + 0,8249^{***} x$	0,998	2,40	0,825
LVA2	$\hat{y} = 1,66 + 0,5089^{***} x$	0,998	2,31	0,509
LVA3	$\hat{y} = 0,27 + 0,4973^{***} x$	0,997	5,55	0,497
	Média		3,42	0,610
	DTPA			$trCu_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = -0,29 + 0,7807^{***} x$	0,997	1,90	0,781
LVA2	$\hat{y} = 0,40 + 0,2856^{***} x$	0,999	0,77	0,286
LVA3	$\hat{y} = -0,44 + 0,3672^{***} x$	0,971	3,46	0,367
	Média		2,04	0,478

***. Significativo a 0,1 %.

3.3. Teores e conteúdo dos quatro micronutrientes na parte aérea de plantas de milho

Os teores foliares de Fe variam de 10 a 1 500 mg/kg de matéria seca, os de Mn entre 5 e 1 500 mg/kg de matéria seca, enquanto para o Zn variam de 3 a 150 mg/kg e de Cu variam de 2 a 20 mg/kg (Dechen e Nachtigall, 2006). As plantas de milho cultivadas nos três solos em estudos tiveram teores dentro desses limites (Quadro 17).

Houve tendência de as plantas de milho cultivadas no LVA3, solo mais tamponado, de apresentar os menores teores dos quatro micronutrientes na parte aérea das plantas de milho (Quadro 17). A disponibilidade de Fe, Mn, Zn e de Cu foi menor neste solo, devido aos seguintes fatores: altos teores de argila e de MO (Quadros 2 e 3) bem como de apresentar o maior pH após a calagem (Quadro 5).

Os maiores teores dos quatro micronutrientes foram encontrados nas plantas cultivadas no LVA1 (Quadro 17). É provável que devido ao baixo teor de argila presente no LVA1 (Quadro 2), o dreno-planta foi mais eficiente em relação ao dreno-solo, fazendo com que as plantas cultivadas nesse solo, pudessem acessar mais facilmente os quatro micronutrientes em solução. Além disso, o

relativamente baixo pH desse solo após a incubação com o calcário (Quadro 5) favoreceu a disponibilidade dos quatro micronutrientes para as plantas de milho.

No LVA3, as plantas cultivadas com zero de Fe apresentaram o maior teor desse micronutriente na parte aérea (Quadro 17). Isso se deve ao efeito de concentração, pois a produção de matéria seca dessas plantas na dose zero de Fe foi uma das menores (Quadro 6).

Quadro 17. Teores totais de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*ttFe_PA*, *ttMn_PA*, *ttZn_PA* e *ttCu_PA*) em função dos níveis do Fertilizante Multimicronutriente (*nFMMi*) que variaram em cada solo

Solo	<i>nFMMi</i>						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	<i>ttFe_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
LVA1	266,44	90,09	183,77	230,71	259,16	212,43	207,10
LVA2	159,43	88,42	84,46	88,35	170,00	363,46	159,02
LVA3	347,50	116,61	93,59	95,93	97,76	120,83	145,37
Média	257,79	98,38	120,61	138,33	175,64	232,24	170,50
	<i>ttMn_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
LVA1	160,14	197,94	353,24	673,36	821,89	1 057,97	544,09
LVA2	81,81	101,85	240,81	465,93	754,12	1 320,51	494,17
LVA3	35,07	128,40	184,87	307,33	418,69	737,07	301,90
Média	92,34	142,73	259,64	482,21	664,90	1 038,51	446,72
	<i>ttZn_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
LVA1	14,15	39,83	72,95	115,17	159,81	280,08	113,67
LVA2	12,45	22,70	36,90	57,15	100,37	249,92	79,91
LVA3	9,69	25,59	33,07	39,64	51,03	60,48	36,58
Média	12,10	29,37	47,64	70,66	103,74	196,82	76,72
	<i>ttCu_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
LVA1	7,99	10,53	17,22	25,91	30,92	29,82	20,40
LVA2	12,42	9,13	10,20	10,45	14,33	19,49	12,67
LVA3	8,30	10,09	11,30	11,75	12,87	13,73	11,34
Média	9,57	9,92	12,91	16,04	19,37	21,02	14,80

^{1/}O *nFMMi* 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Para o LVA1 não foi possível o ajuste de regressão para os teores totais de Fe na parte aérea das plantas de milho em função das doses aplicadas desse micronutriente, porém para o LVA2 ajustou-se a regressão quadrática e para o LVA3 a raiz quadrática (Quadro 18).

Com os dados obtidos dos níveis críticos foliares de uma determinada cultura, é possível avaliar o seu estado nutricional, auxiliando assim, as recomendações de correção e ou adubação (Leite et al. 2003).

Nos três solos utilizados nesta pesquisa, os níveis críticos de Fe na parte aérea das plantas variaram de 74,81 a 207,10 mg/kg, os de Mn oscilaram de 85,67 a 401,95 mg/kg, os de Zn de 19,34 a 50,37 mg/kg e os de Cu de 10,72 a 14,60 mg/kg (Quadro 18).

Leite et al. (2003) determinaram os níveis críticos foliares de Mn, Zn e de Cu em plantas de milho cultivadas em um solo arenoso, os valores em mg/kg foram 27,20 de Mn, 34,07 de Zn e 1,14 de Cu.

As plantas cultivadas nos solos com os maiores teores de argila foram as que apresentaram os menores níveis críticos foliares dos quatro micronutrientes (Quadro 18), possivelmente por ter havido menor disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Quadro 18. Equações dos teores totais de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho ($ttFe_PA$, $ttMn_PA$, $ttZn_PA$ e $ttCu_PA$) (\hat{y} , mg/kg) em função das doses destes micronutrientes (x , mg/dm³) aplicadas em três solos e níveis críticos foliares de Fe, Mn, Zn e Cu ($ncFe_Fl$, $ncMn_Fl$, $ncZn_Fl$ e $ncCu_Fl$) (mg/kg)

Solo	Equação	R ²	
	$ttFe_PA$		$ncFe_Fl$
			mg/kg
LVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 207,10$		207,10
LVA2	$\hat{y} = 135,71 - 1,564^{***} x + 0,0137^{***} x^2$	0,967	117,89
LVA3	$\hat{y} = 335,15 - 55,341^{***} x^{0,5} + 2,9188^{***} x$	0,956	74,81
	$ttMn_PA$		$ncMn_Fl$
			mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 106,55 + 10,252^{***} x - 0,0258^* x^2$	0,986	310,70
LVA2	$\hat{y} = 3,48 + 8,534^{***} x$	0,989	85,67
LVA3	$\hat{y} = 42,03 + 4,520^{***} x$	0,995	401,95
	$ttZn_PA$		$ncZn_Fl$
			mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 13,88 + 5,206^{***} x$	0,996	50,37
LVA2	$\hat{y} = 17,35 + 0,344^{***} x + 0,0856^{**} x^2$	0,997	19,34
LVA3	$\hat{y} = 18,77 + 0,929^{**} x$	0,903	43,43
	$ttCu_PA$		$ncCu_Fl$
			mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 6,43 + 3,198^{***} x - 0,1008^{***} x^2$	0,986	14,60
LVA2	$\hat{y} = 11,01 - 0,271^{***} x + 0,0357^{**} x^2$	0,906	10,72
LVA3	$\hat{y} = 9,48 + 0,2428^{**} x$	0,852	12,06

*, ** e ***. Significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Nos três solos os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu nas plantas de milho, foram estimados com base na produção de matéria seca e nos teores desses micronutrientes na parte aérea das plantas de milho (Quadro 19).

No LVA3, os altos teores de argila e de MO, reduziram o acúmulo dos quatro micronutrientes nas plantas de milho (Quadro 19). Além disso, o maior pH apresentado por esse solo após a calagem (Quadro 5), também pode ter reduzido a absorção dos quatro micronutrientes (Quadro 19).

Em média, os maiores conteúdos de Fe e de Mn foram obtidos nas plantas cultivadas no LVA2, e os de Zn e Cu nas plantas cultivadas no LVA1 (Quadro 19).

Quadro 19. Conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (cFe_PA , cMn_PA , cZn_PA e cCu_PA) em função dos níveis do Fertilizante Multimicronutriente ($nFMMi$) que variaram em cada solo

Solo	$nFMMi$						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	cFe_PA						
	-----mg/vaso-----						
LVA1	1,84	1,17	2,07	2,39	2,01	1,51	1,83
LVA2	1,89	1,35	1,23	1,29	1,84	3,78	1,90
LVA3	0,88	1,28	1,03	1,12	1,15	1,33	1,13
Média	1,54	1,26	1,44	1,60	1,66	2,21	1,62
	cMn_PA						
	-----mg/vaso-----						
LVA1	1,13	2,57	3,98	7,00	6,29	7,39	4,73
LVA2	0,97	1,56	3,50	6,79	8,14	13,94	5,82
LVA3	0,09	1,41	2,03	3,61	4,88	8,12	3,36
Média	0,73	1,85	3,17	5,80	6,44	9,81	4,63
	cZn_PA						
	-----mg/vaso-----						
LVA1	0,10	0,52	0,82	1,20	1,26	1,95	0,97
LVA2	0,15	0,35	0,54	0,83	1,08	2,63	0,93
LVA3	0,03	0,28	0,36	0,47	0,59	0,67	0,40
Média	0,09	0,38	0,57	0,83	0,98	1,75	0,77
	cCu_PA						
	-----mg/vaso-----						
LVA1	0,06	0,14	0,19	0,27	0,24	0,21	0,18
LVA2	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,20	0,16
LVA3	0,02	0,11	0,12	0,14	0,15	0,15	0,12
Média	0,08	0,13	0,16	0,19	0,18	0,19	0,15

^{1/}O $nFMMi$ 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Nos solos LVA1 e LVA3 não houve ajuste de equações de regressão a conteúdo de Fe na parte aérea das plantas em função das doses de Fe (Quadro 20). Para o Mn, Zn e Cu houve o ajuste de equações para todos os três solos (Quadro 20).

Foram calculadas as taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e Cu pelas plantas de milho (Quadro 20). Estas taxas estimam a eficiência da planta em obter os nutrientes aplicados nos solos (Craswell e Godwin, 1984)

As plantas de milho apresentaram diferentes taxas de recuperação dos quatro micronutrientes em cada solo (Quadro 20). As taxas de recuperação pela planta obtida para cada micronutriente além de ser função das doses aplicadas, é também função do poder tampão de cada solo. As plantas cultivadas no LVA1, foram as que apresentaram as maiores taxas de recuperação dos quatro micronutrientes (Quadro 20). Isso ocorreu porque nesse solo a disponibilidade dos micronutrientes foi maior, uma vez que, a adsorção dos micronutrientes aos coloides é menor, favorecendo o dreno-planta.

As taxas de recuperação de Mn pelas plantas de milho oscilaram entre 0,0559 e 0,1024, a de Zn ficaram entre 0,0167 a 0,0668, as de Cu variaram entre 0,0125 a 0,0319 (Quadro 20). Reynaga (2017), encontrou as seguintes taxas de recuperação de micronutrientes em folhas de café: 0,989, 0,028 e 0,046 respectivamente para Mn, Zn e Cu. Possivelmente os valores de taxa de recuperação dos micronutrientes do presente estudo foram baixos devido ao pequeno tamanho do sistema radicular, quando comparado a plantas cultivadas no campo, onde o sistema radicular é muito mais desenvolvido.

Quadro 20. Equações dos conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (cFe_PA , cMn_PA , cZn_PA e cCu_PA) (\hat{y} , mg/vaso) em função das doses de Fe, Mn, Zn e de Cu (x , mg/dm³) aplicadas em três solos e as taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e de Cu pela parte aérea das plantas de milho ($trFe_Pl$, $trMn_Pl$, $trZn_Pl$ e $trCu_Pl$)

Solo	Equação	R ²	
	cFe_PA		$trFe_Pl$
LVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 1,83$		-
LVA2	$\hat{y} = 1,75 - 0,012^{***} x + 0,00013^{***} x^2$	0,972	-
LVA3	$\hat{y} = \bar{y} = 1,13$		0,0024
	cMn_PA		$trMn_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 1,21 + 0,107^{***} x - 0,0004^{***} x^2$	0,943	0,1024
LVA2	$\hat{y} = 0,80 + 0,087^{***} x$	0,990	0,0693
LVA3	$\hat{y} = 0,40 + 0,052^{***} x$	0,995	0,0559
	cZn_PA		$trZn_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 0,33 + 0,034^{***} x$	0,938	0,0668
LVA2	$\hat{y} = 0,24 + 0,012^{***} x + 0,0007^{**} x^2$	0,988	0,0423
LVA3	$\hat{y} = 0,18 + 0,011^{**} x$	0,829	0,0167
	cCu_PA		$trCu_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 0,07 + 0,032^{***} x - 0,0013^{***} x^2$	0,926	0,0319
LVA2	$\hat{y} = 0,14 + 0,003^{**} x$	0,803	-
LVA3	$\hat{y} = 0,05 + 0,016^{**} x - 0,0006^{***} x^2$	0,789	0,0125

** e ***. Significativo a 1 e 0,1 % respectivamente. - = negativo.

3.4 Coeficientes de correlação linear simples entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu e os teores desses quatro micronutrientes pelos três extratores

De modo geral os conteúdos de Fe nas plantas de milho tiveram melhor correlação com os teores desse micronutriente obtidos pelo DTPA (Quadro 21). Isso indica que, nas condições desta pesquisa, o DTPA foi mais adequado para estimar a disponibilidade de Fe para as plantas.

Sarto et al. (2011) relataram também que os teores de Fe recuperados pelo DTPA foram os que melhor se correlacionaram com o conteúdo desse micronutriente em plantas de trigo e soja. Estes autores encontraram coeficientes de correlação superiores aos desta pesquisa.

Os teores de Fe pelo M1 e M3 não apresentaram correlação significativa com o conteúdo desse micronutriente nas plantas de milho (Quadro 21). Alguns trabalhos realizados indicam que dificilmente é encontrado correlação entre os teores disponíveis de Fe extraídos com o M1 e o M3 com o conteúdo de Fe na planta. É o caso de Mielki et al. (2016), que relataram a ineficiência dos extratores M1 e o M3 em avaliar a disponibilidade de Fe para plantas de milho. Resultados

semelhantes foram obtidos por Abreu et al. (2004) com milho e soja: não encontraram correlação entre os teores disponíveis de Fe com os extratores M1, M3 e DTPA.

O menor coeficiente de correlação entre o teor de Mn no solo e o acumulado pelas plantas de milho ocorreu com o DTPA. Esse resultado indica que o DTPA foi o menos eficiente na avaliação da disponibilidade desse micronutriente nos três solos utilizados nesta pesquisa (Quadro 21).

A capacidade em prever a disponibilidade de Cu para as plantas de milho foi próxima entre os extratores. Bortolon & Gianello (2009) observaram baixa eficiência do M1 na avaliação da disponibilidade de Cu para o milho e para a soja em solos do Rio Grande do Sul.

Os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelo M3 correlacionaram-se significativamente com os teores extraídos com o M1 e o DTPA. Os teores de Fe recuperados com o M3 correlacionaram-se melhor com os teores extraídos com o M1. Independentemente do método de extração, os três extratores apresentaram capacidade similar em quantificar os teores dos quatro micronutrientes nos solos em estudo.

Quadro 21. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (cFe_{PA} , cMn_{PA} , cZn_{PA} e cCu_{PA}) com as médias das seis doses dos micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

	cFe_{PA}	R^2
M1	0,157 ^{ns}	0,025
M3	0,287 ^{ns}	0,082
DTPA	0,544*	0,296
<hr/>		
	cMn_{PA}	
M1	0,828***	0,686
M3	0,854***	0,729
DTPA	0,700**	0,490
<hr/>		
	cZn_{PA}	
M1	0,747***	0,558
M3	0,821***	0,674
DTPA	0,753***	0,567
<hr/>		
	cCu_{PA}	
M1	0,644**	0,415
M3	0,665**	0,442
DTPA	0,648**	0,420

ns, *, ** e ***. Não significativo, significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Quadro 22. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores disponíveis de Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA nas seis doses dos micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Fe			
	M3	DTPA	
M1	0,901***		0,552***
M3	-		0,668***
Mn			
	M3	DTPA	
M1	0,991***		0,897***
M3	-		0,891***
Zn			
	M3	DTPA	
M1	0,984***		0,918***
M3	-		0,952***
Cu			
	M3	DTPA	
M1	0,967***		0,906***
M3	-		0,937***

***. Significativo 0,1 %.

4. CONCLUSÕES

Os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelo M3 correlacionaram melhor com os teores extraídos com o M1. Esses dois extratores utilizam em parte o mesmo mecanismo de extração de micronutrientes que é a solubilização de compostos.

O DTPA foi o mais eficiente para avaliar a disponibilidade de Fe para as plantas de milho. Os três extratores apresentaram capacidade de avaliar a disponibilidade de Mn, Zn e de Cu bem próximas, tendo uma ligeira vantagem o M3.

O extrator M3 possui potencial para ser utilizado em análises de rotina de micronutrientes, uma vez que indicou boa correlação entre os conteúdos dos micronutrientes com os teores recuperados por ele. Entretanto, existe a necessidade de mais estudos com relação ao Fe, pois, não ocorreu correlação entre o conteúdo desse micronutriente com os teores recuperados com o M3.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A., RAIJ, B.V.; ABREU, M.F. PAZ GONZALEZ, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. R. Bras. Ci. Solo. 2004; 28:579-584.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 2000, 25:27-32.

ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análises de solo. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F., editores. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.615-646.

ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, 1999. p.43-60.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.25-32.

ASPIAZÚ, I. Extração de Ferro e Manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais e da Bahia. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Disponibilidade de cobre e zinco em solos do sul do Brasil. R. bras. Ci. Solo. 2009; 33:647-658

DECHEN, A.R. e NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S, editor. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006; p.328-354.

LEITE, U.B.; AQUINO, B.F.; ROCHA, R.N.C. SILVA, J. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. R. Biosci. J. 2003; 19: 115-125.

LINDSAY, W.L., NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America, 1978, 42:421-428.

MALLARINO, A.P. Field calibration for corn of the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively-coupled plasma emission spectroscopy determination methods. Soil Science Society of America Journal. 2003, 67:1928-1934.

MENEZES, A. A., DIAS, L. E., NEVES, J. C. L., & Silva, J. V. O. Disponibilidade de zinco para milho pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais, na presença e ausência de calagem. R. Bras. Ci. Solo. 2010; 34: 417–424.

MEHLICH A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 1984;15:1409-16.

MIELKI, G.F., NOVAIS, R.F., KER, J.C., VERGÜTZ, L. & CASTRO, G.F. Iron Availability in Tropical Soils and Iron Uptake by Plants. *R. Bras. Ci. Solo.* 2016; 40: 150–174.

MILAGRES, J.J.M., ALVAREZ V., V.H.A.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Determinação de Fe, Zn, Cu e Mn extraídos do solo por diferentes extratores e dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido e espectrofotometria de absorção atômica. *R. Bras. Ci. Solo.* 2007; 31: 237-245.

NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L. & MELÍCIO, A.C.F.D. Fracionamento, dessorção e extração química de zinco em Latossolos. *R. bras. Ci. Solo*, 26:599-606.2002.

NASCIMENTO, C.W.A.. Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2001

NOVAIS, R.F, NEVES, J.C.L, BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J, GARRIDO, W.E, ARAÚJO, J.D, LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SEA; 1991; p. 189-254.

OLIVEIRA JUNIOR, A. Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro para a cultura da soja na região de Balsas, MA. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.

ORTIZ, F.R.; BRITO, O.R.; BORKERT, C.M. BRITO, R.M. Procedimentos para obtenção de extratos e determinação de micronutrientes em amostras de solos. *Revista Semina Ciências Agrárias.* 2005; 26: 49-52.

PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; ANJOS, L. H. C. Comparação de métodos de extração de cobre, zinco, ferro e manganês em solos do estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo.* 2001; 25: 655-660.

PICKERING, W.F. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. 1981. *Crit. Rev. Chem.*, 12: 233-266.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. Instituto Agrônomo de Campinas -IAC.Campinas. 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.V., BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na Agricultura. 1991. Piracicaba: PATAFOS/CNPQ.

REYNAGA, W.H.M. Método Requerimento-Suprimento para determinação de dose e composição do fertilizante multinutriente para crescimento inicial do cafeeiro. [Dissertação]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2017, 44p.

RUIZ, H.A, FERREIRA, G.B. PEREIRA J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. R. Bras. Ci. Solo. 2003;27:389-93.

RODRIGUES, F.A.V.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Disponibilidade de zinco para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 2009; 36:1249-1257.

RODRIGUES, F.A.V. Disponibilidade de cobre e zinco para mudas de eucalipto em solos de cerrado. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.

RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. R. Pesq. Agropec. Bras. 2001; 36:143-149.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; COSTA, A.C.S; CEGANA, A.C.V. Extratores para a quantificação de Fe em solos cultivados com soja. R. Acta Scient. 2004; 26:367-371.

SANTOS NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e Minas Gerais. [Dissertação]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003, 51p.

SARTO, M.V.M.; STEINER, F.; LANA, M.C. Assessment of micronutrient extractants from soils of Paraná, Brazil. R. bras. Ci. Solo, 35:2093-2103. 2011.

CAPÍTULO 2

DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANGANÊS ZINCO E COBRE DE TRÊS SOLOS DE MINAS GERAIS CULTIVADOS COM MILHO, QUANDO AS DOSES DOS MICRONUTRINTES VARIARAM INDEPENDENTEMENTE

RESUMO

Para a escolha do extrator para estimar a disponibilidade dos nutrientes no solo são realizados estudos de correlação e de calibração. Nos primeiros estudos são testados diferentes extratores, e é selecionado o que melhor se aproxima do método padrão, que é a quantidade absorvida e acumulada pelas plantas. Posteriormente são definidas as doses recomendáveis a serem adicionadas ao solo e os níveis críticos. Este trabalho teve os seguintes objetivos: comparar a capacidade preditiva do Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA quanto à disponibilidade de micronutrientes catiônicos em três solos; determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação de micronutrientes catiônicos pelas plantas e pelos extratores em cada solo. Para isso foi instalado um experimento em casa de vegetação com o seguinte fatorial $3 \times 4 \times 6$: três solos, quatro micronutrientes e seis doses dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu, que derivaram da matriz baconiana $6 + 6 + 6 + 6$. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Foram utilizadas as seguintes doses em mg/dm^3 de Fe (0; 20; 40; 80; 120, e 200,); Mn (0; 15; 30; 60; 90, e 120,); Zn (0; 5; 10; 20; 30 e 50) e de Cu (0; 2; 4; 8; 12 e 20). As fontes de cada micronutriente foram: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. As unidades experimentais foram constituídas de vasos plásticos contendo $2,0 \text{ dm}^3$ de solo com quatro plantas de milho, colhidas 33 d após a germinação das plantas. Os teores disponíveis de Fe, Mn, Zn e de Cu foram determinados pelos extratores M1, M3 e DTPA. Em média, os níveis críticos de Fe em mg/dm^3 nos três solos para o desenvolvimento das plantas de milho foram 134,81, 109,72 e 6,05 com o M1, M3 e DTPA; os de Mn foram 31,46; 24,47 e 18,15; os de Zn 5,85; 4,64 e 2,18 e os de Cu 0,73; 0,57 e 0,16 respectivamente. As menores taxas de recuperação dos quatro micronutrientes ocorreram no extrator DTPA e as maiores no M1. Os teores dos micronutrientes recuperados pelos extratores M1 e M3 foram

altamente correlacionados entre si. Os teores de Fe extraídos pelo DTPA tiveram baixa correlação com os teores recuperados tanto pelo M1 quanto pelo M3. O DTPA foi mais eficiente do que o M1 e o M3 em prever a disponibilidade de Fe para as plantas de milho. O M1 e o M3 foram mais eficientes do que o DTPA em prever a disponibilidade de Cu para as plantas de milho. O M1, M3 e o DTPA foram eficientes em prever a disponibilidade de Mn e de Zn para as plantas de milho. O M3 apresenta potencial para ser utilizado em análises de rotina de micronutrientes. Entretanto, existe a necessidade de mais estudos com relação ao Fe, uma vez que, a correlação entre o conteúdo desse micronutriente e os teores recuperados pelo M3 foram baixas.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade dos micronutrientes catiônicos geralmente é avaliada por soluções extratoras ácidas ou complexantes. No Brasil, destaca-se os métodos de extração Mehlich-1 (M1) e DTPA.

A adoção do M1 se deve, entre outros fatores, por ele apresentar extratos límpidos, ser de preparo rápido e simples e ter custo não muito elevado, mas principalmente por extrair teores de micronutrientes no solo que se correlacionam significativamente com os conteúdos dos micronutrientes nas plantas (Raij, 1991; Menezes et al; 2010). O mecanismo de ação do M1 se baseia na troca de cátions adsorvidos e, devido ao baixo pH, à dissolução de carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados o que provoca dissolução parcial dos minerais silicatados (Pickering, 1981).

O DTPA é um extrator que age por complexação. Seu papel é diminuir a atividade dos íons em solução, pela formação de complexos solúveis, sem praticamente alterar o pH dos solos, de forma que, não ocorre solubilização dos colóides do solo (Lindsay e Norvell, 1978).

Diversos pesquisadores têm estudado a possibilidade de substituir os extratores convencionais pelo Mehlich-3 (M3) nas análises de solos de rotina (Bortolon e Gianello, 2009; Bortolon e Gianello, 2010; Faria et al., 2012; Reis 2016). Sendo que este extrator, já está sendo utilizado em várias instituições de pesquisa (Milagres et al., 2007). Entretanto, se faz necessária a calibração dos valores obtidos por este método de extração com o rendimento das culturas numa determinada região (Mallarino, 2003), pois a confiabilidade da recomendação de micronutrientes passa necessariamente por três informações importantes: o teor do micronutriente disponível no solo, o seu nível crítico e a declividade da reta que relaciona o teor desse micronutriente recuperado por um determinado extrator em função de suas doses aplicadas (Alvarez V. 1996), taxas de recuperação do extrator.

Rodrigues et al. (2001) avaliaram a disponibilidade de Fe e de Mn em seis solos da Amazônia cultivados com arroz. Estes autores utilizaram o M1, M3 e o DTPA como extratores e concluíram que o M3 foi o extrator que apresentou os melhores coeficientes de correlação entre os teores de Fe e de Mn no solo com o conteúdo desses micronutrientes na planta de arroz.

O objetivo desse trabalho foi comparar a capacidade preditiva do M1, M3 e DTPA quanto à disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Cu em três solos; determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação de micronutrientes catiônicos pelas plantas e pelos extratores em cada solo.

2.MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzindo em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFV. Utilizou-se nesta pesquisa três solos (Quadro 1), suas amostras foram coletadas, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 4 mm. Depois subamostras desses solos (TFSA) foram caracterizadas física (Quadro 2) e quimicamente (Quadro 3).

Quadro 1. Classificação e procedência dos solos

Solo	Classificação	Procedência
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA1	Três Marias-MG
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA2	Viçosa-MG
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA3	Viçosa-MG

Quadro 2. Características físicas dos solos

Solo	DS ^{1/}	EU ^{2/}	Areia grossa	Areia fina	silte	argila	Classificação textural ^{3/}
	kg/dm ³	kg/kg	-----%-----				
LVA1	1,26	0,087	17,7	60,4	1,7	20,1	Franco-Argilo- Arenosa
LVA2	1,05	0,275	19,3	12,7	6,5	61,5	Muito Argilosa
LVA3	1,05	3,18	11,3	9,2	3,0	76,5	Muito Argilosa

^{1/} Densidade do Solo. ^{2/} Equivalente de Umidade. ^{3/} Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Quadro 3. Características químicas dos solos

Características	LVA1	LVA2	LVA3
^{1/} pH água 1:2,5	5,50	4,81	4,99
^{2/} Prem, mg/L	21,9	13,1	12,8
^{3/} Mat. Orgânica, g/kg	25,0	17,7	39,0
^{4/} Fe, mg/dm ³	80,08	98,61	39,87
^{4/} Mn, mg/dm ³	6,16	6,57	0,47
^{4/} Zn, mg/dm ³	0,28	1,19	0,13
^{4/} Cu, mg/dm ³	0,32	1,92	0,31
^{4/} P, mg/dm ³ ^{2/}	0,5	0,9	1,2
^{4/} K, mg/dm ³ ^{2/}	17,0	7,0	9,0
^{5/} Ca ²⁺ , cmol _c /dm ³ ^{3/}	0,08	0,65	0,01
^{5/} Mg ²⁺ , cmol _c /dm ³ ^{3/}	0,0	0,02	0,04
^{5/} Al ³⁺ , cmol _c /dm ³ ^{3/}	0,16	0,7	1,3
^{6/} H+Al, cmol _c dm ⁻³ ^{4/}	2,1	4,1	9,5
SB, cmol _c /dm ³	0,12	0,69	0,1
CTC a pH 7, cmol _c /dm ³	2,2	4,79	9,8
CTCefetiva, cmol _c /dm ³	0,28	1,39	1,30
V, %	5,5	14,0	0,9
m, %	57,8	50,4	100,0

^{1/} pH em água, relação 1:2,5, ^{2/} Alvarez V. et al., (2000), ^{3/} Matéria Orgânica do Solo, Walkley-Black ^{4/} Extrator Mehlich-1, relação 1:10, ^{5/} Extrator KCl 1,0 mol/L, relação 1:10, ^{6/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L , pH 7,0, relação 1:15.

Foi utilizado o esquema fatorial 3 × 4 × 6, correspondendo a três solos do Estado de Minas Gerais (Quadro 1) quatro micronutrientes (Fe, Mn, Zn e Cu) e seis doses desses micronutrientes que se derivaram da matriz baconiana 6 + 6 + 6 + 6 (Quadro 4). Foram utilizadas as seguintes doses de referência para os quatro micronutrientes: 40 mg/dm³ para o Fe; 30 mg/dm³ para o Mn, 10 mg/dm³ para o Zn e 4 mg/dm³ para o Cu.

Quadro 4. Doses de Fe, Mn, Zn e de Cu que foram aplicadas de acordo com a matriz baconiana em três solos do Estado de Minas Gerais

Dose			
Fe	Mn	Zn	Cu
----- mg/dm ³ -----			
0	30	10	4
20	30	10	4
40	30	10	4
80	30	10	4
120	30	10	4
200	30	10	4
40	0	10	4
40	15	10	4
40	30	10	4
40	60	10	4
40	90	10	4
40	150	10	4
40	30	0	4
40	30	5	4
40	30	10	4
40	30	20	4
40	30	30	4
40	30	50	4
40	30	10	0
40	30	10	2
40	30	10	4
40	30	10	8
40	30	10	12
40	30	10	20

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de vasos plásticos contendo 2,0 dm³ de solo, onde foram cultivadas quatro plantas de milho (*Zea mays* L.) por vaso.

Os solos foram corrigidos para neutralizar o Al³⁺ e elevar o valor de V. Para isso utilizou-se uma mistura corretiva (CaCO₃ e MgCO₃ na razão molar de Ca:Mg 4:1), que foi aplicada em 2,3 dm³ de cada solo em cada unidade experimental. Os solos ficaram incubados por 15 d na casa de vegetação com a umidade do solo mantida em 80 % da capacidade de campo, que foi estimada a partir do Equivalente de Umidade segundo Ruiz et al. (2003).

Decorridos 15 d após a aplicação do corretivo foram aplicadas as doses dos micronutrientes (Quadro 4) utilizando as fontes FeCl₃.6H₂O, MnCl₂.4H₂O, Zn(NO₃)₂.6H₂O e Cu(NO₃)₂.3H₂O e incubadas novamente por 7 d. Após este período foi realizada uma amostragem de cada solo (0,3 dm³) para a determinação

dos quatro micronutrientes pelos extratores M1, M3 e DTPA. Nestas amostras foram determinadas o pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺) e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (Quadro 5). O restante do solo, 2,0 dm³ foram colocados nos vasos para o cultivo de milho.

Quadro 5. Valores de pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺) e teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas amostras dos três solos após a calagem

Solo	^{1/} pH	^{2/} H+Al	^{3/} Al ³⁺	^{3/} Ca ²⁺	^{3/} Mg ²⁺
	cmol/dm ³			
LVA1	5,93	1,30	0,05	1,54	0,29
LVA2	5,84	2,45	0,05	2,31	0,34
LVA3	6,08	0,90	0,05	3,03	0,52

^{1/} pH em água, relação 1:2,5, ^{2/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L , pH 7,0, relação 1:15, ^{3/}Extrator KCl 1,0 mol/L, relação 1:10.

Foram semeadas sete sementes de milho híbrido em cada unidade experimental e, após desbastes, foram cultivadas quatro plantas de milho por vaso.

No plantio, foi aplicado em todo o volume do solo, doses de P e de S de acordo com o P remanescente de cada solo, segundo Alvarez V. et al. (2000). Para o LVA1 aplicou-se 410,0 e 97,6 mg/dm³ de P e S respectivamente. No LVA2 e LVA3 foram aplicados 480,0 e 97,6 mg/dm³ de P e S. Também foi aplicada uma dose de 100 e 150 mg/dm³ de N e K respectivamente. Semanalmente após o plantio, foi aplicado uma dose de 50 mg/dm³ de N e realizou-se o rodízio dos vasos dentro de cada bloco. Aplicou-se 0,81 mg/dm³ de B e 0,15 mg/dm³ de Mo de acordo Novais et al. (1991). A fonte de B foi o H₃BO₃ e de Mo o NaMoO₄.2H₂O. A umidade dos solos nos vasos foi mantida próxima a 80 % da capacidade de campo por meio de irrigações diárias na parte superior dos vasos.

As plantas de milho foram cortadas aos 33 d após a emergência e secas em estufa de circulação de ar a 70 °C por 72 h. As plantas foram pesadas e trituradas em moinho tipo Wiley. Amostras foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados Fe, Mn, Zn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica.

As amostras de solo coletadas após a incubação com as doses dos micronutrientes catiônicos foram analisadas pelos extratores: M1, M3 e DPTA.

Na extração com o M1 (HCl 50 mmol/L + H₂SO₄ 12,5 mmol/L) e com o M3 (HOAc 0,2 mol/L, NH₄NO₃ 0,25 mol/L, NH₄F 15 mmol/L, HNO₃ 13 mmol/L

e Na₂EDTA 1 mmol/L) foi utilizada a relação solo:solução 1:10 (5 cm³ de solo e 50 mL de extrator) com agitação durante 5 min e repouso por 16 h.

A extração com DTPA-TEA pH 7,3 (DTPA 5 mmol/L triaetanolamina (TEA) 0,1 mol/L e CaCl₂ 10 mmol/L) utilizou-se a relação solo:solução 1:2 (20 cm³ de solo com 40 mL de extrator), com agitação durante 2 h seguida de filtragem lenta em papel de filtro.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em seguida, foram ajustados modelos de regressão relacionando a produção de matéria seca, e os teores dos micronutrientes recuperados em função das doses adicionadas. Para isso, utilizou-se o SISVAR 5.6. Escolheram-se os modelos que possuíam os coeficientes de regressão significativos até o nível de 25 % de probabilidade para obter os modelos que melhor explicariam o fenômeno do ponto de vista agronômico.

Para obter as doses dos micronutrientes que condicionam 95 % da produção máxima para cada solo, fez-se a primeira derivada das equações de produção de matéria seca em função das doses adicionadas dos quatro micronutrientes igualando-a a zero, o valor encontrado foi a dose de micronutrientes (mg/dm³) necessária para atingir a produção máxima física, a produção de “máxima eficiência econômica” foi a correspondente a de 95 % da produção máxima física. Para obter os níveis críticos de Fe, Mn, Zn e Cu para cada solo, realizou-se a substituição dos valores das doses recomendáveis dos micronutrientes nas equações de Fe, Mn, Zn e Cu recuperados em função das doses de micronutrientes adicionadas. Para avaliar a capacidade preditiva dos extratores quanto a disponibilidade de micronutrientes no solo, foram feitas correlações lineares simples entre os teores de micronutrientes disponível pelos três extratores e o conteúdo desses micronutrientes na parte aérea das plantas de milho. A taxa de recuperação de cada micronutriente pela planta foi calculada da seguinte maneira, exemplo para o Fe:

$$trFe_PI = (cFe_DRFe - cFe_D0) / drFe$$

onde:

trFe_PI = taxa de recuperação de Fe pela planta;

cFe_DRFe = conteúdo de Fe obtido pela dose recomendável de Fe;

cFe_D0 = conteúdo de Fe obtido pela dose zero de Fe;

drFe = dose recomendável de Fe.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho

Em geral as plantas cultivadas no LVA2 tiveram as maiores produções de matéria seca (Quadro 6). As plantas cultivadas no LVA1 apresentaram as menores produções (Quadro 6). Em média as plantas cultivadas no LVA1 produziram 26,64 g/vaso, no LVA2 39,28 g/vaso e no LVA3 28,83 g/vaso.

As plantas de milho cultivadas no LVA2 apresentaram maior produção de matéria seca, pois a disponibilidade dos micronutrientes neste solo foi maior, devido aos seguintes fatores: baixo teor de MO e baixo pH após a aplicação do calcário.

As plantas de milho cultivadas no LVA2 tiveram a maior produção de matéria seca quando as doses de Cu foram variáveis e as dos demais micronutrientes foram constantes (Quadro 6), o que pode indicar que o Cu seria o nutriente mais limitante para a produção vegetal nesse solo.

Quando as doses de Fe variaram e as dos demais micronutrientes foram constantes, as plantas cultivadas no LVA1 apresentaram a menor produção de matéria seca. A maior produção média do LVA1 ocorreu quando as doses de Cu variaram e as dos demais micronutrientes foram constantes (Quadro 6).

As plantas cultivadas no LVA3 apresentaram a menor produção de matéria seca, quando as doses de Zn variaram e as dos demais micronutrientes eram constantes. A maior produção média nesse solo foi atingida quando as doses de Mn foram variáveis e as dos outros três micronutrientes constante (Quadro 6).

Numa primeira análise, pode-se imaginar que as plantas cultivadas no LVA1 fossem as que apresentariam as maiores produções de matéria seca, uma vez que, dentre os três solos, o LVA1 é o que possui os menores teores de argila (Quadro 2) e conseqüentemente, haveria menor adsorção dos micronutrientes em comparação com os outros dois solos. Logo os micronutrientes no LVA1 ficariam disponíveis para as plantas. Essa expectativa foi frustrada, pois, em média, foi nesse solo que obteve a menor produção de matéria seca (Quadro 6).

Houve maior produção de matéria seca das plantas de milho desse experimento (Quadro 6) em comparação a produção obtida pelas plantas de milho do experimento um (Quadro 6 do capítulo 1). É importante relatar que, os solos,

as sementes de milho e as doses dos micronutrientes são as mesmas dos dois experimentos, o que difere é que, no experimento um (Capítulo 1), as doses dos quatro micronutrientes foram aplicadas em conjunto (Quadro 4 do capítulo 1), enquanto no experimento dois (Capítulo 2), variaram-se as doses de um dos micronutrientes e as dos demais mantidas constantes (Quadro 4 do capítulo 2). Neste caso não havia uma dose zero para todos os quatro micronutrientes.

No experimento do capítulo um, as plantas de milho cultivadas no LVA1 apresentaram em média uma produção de 9,38 g/vaso. Esse solo apresentou produção de 25,58 g/vaso no experimento do capítulo dois. As plantas de milho que foram cultivadas no solo LVA2 no experimento do capítulo um apresentaram produção de 12,94 g/vaso e, no experimento dois, 36,41 g/vaso. No experimento do capítulo um, as plantas cultivadas no LVA3 obtiveram uma produção em média de 9,38 g/vaso e, no experimento do capítulo dois, de 28,49 g/vaso.

Quadro 6. Produção de matéria seca de plantas de milho (*mMS_PA*) em função das doses de Fe, Mn, Zn e Cu aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Dose				Solo		
Fe	Mn	Zn	Cu	LVA1	LVA2	LVA3
-----mg/dm ³ -----				-----g/vaso-----		
0,0	30,0	10,0	4,0	26,59	38,46	25,51
20,0	30,0	10,0	4,0	27,93	36,33	26,95
40,0	30,0	10,0	4,0	25,86	37,09	30,01
80,0	30,0	10,0	4,0	22,41	37,60	27,57
120,0	30,0	10,0	4,0	19,92	37,30	31,29
200,0	30,0	10,0	4,0	18,77	27,49	30,96
Média				22,98	35,71	28,72
40,0	0,0	10,0	4,0	22,62	31,11	27,89
40,0	15,0	10,0	4,0	24,40	35,39	28,79
40,0	30,0	10,0	4,0	26,37	36,17	29,68
40,0	60,0	10,0	4,0	28,72	37,14	32,27
40,0	90,0	10,0	4,0	28,71	37,86	29,86
40,0	150,0	10,0	4,0	26,97	35,25	29,80
Média				26,30	35,49	29,72
40,0	30,0	0,0	4,0	23,58	33,30	11,61
40,0	30,0	5,0	4,0	25,92	35,31	27,45
40,0	30,0	10,0	4,0	26,99	40,06	28,48
40,0	30,0	20,0	4,0	27,44	37,09	28,66
40,0	30,0	30,0	4,0	27,40	34,56	32,99
40,0	30,0	50,0	4,0	26,85	30,72	30,83
Média				26,36	35,17	26,67
40,0	30,0	10,0	0,0	31,04	37,05	26,84
40,0	30,0	10,0	2,0	26,00	38,72	27,87
40,0	30,0	10,0	4,0	25,73	39,47	28,04
40,0	30,0	10,0	8,0	24,81	39,59	28,15
40,0	30,0	10,0	12,0	25,72	40,65	31,09
40,0	30,0	10,0	20,0	26,73	40,22	30,96
Média				26,67	39,28	28,83

As regressões raiz quadrática e quadrática foram as que melhor se ajustaram à produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho em função das doses aplicadas dos quatro micronutrientes. Tanto para o LVA1 quanto para o LVA2 não foi possível o ajuste de nenhuma regressão quando as doses de Fe e de Cu variaram (Quadro 7).

Os solos LVA1 e LVA2 possuem respectivamente os menores e maiores teores de Mn iniciais (Quadro 3). Quando as plantas de milho se desenvolveram somente com a disponibilidade de Mn que os solos possuem, as plantas que apresentaram as menores produções foram cultivadas no solo com menor teor de

Mn, o LVA1, e as plantas com maior produção foram as cultivadas no LVA2, que possui os maiores teores desse micronutriente (Quadro 7).

O mesmo resultado foi obtido com o Zn. As plantas cultivadas no solo com menor teor de Zn inicial, (LVA3) (Quadro 3), apresentaram as menores produções de matéria seca (Quadro 7). E o contrário também aconteceu, as plantas cultivadas no LVA2, solo com maior teor disponível de Zn, (Quadro 3) obtiveram a maior produção (Quadro 7).

Quando variavam tanto as doses de Fe como as de Mn, as plantas cultivadas no LVA1 foram as que obtiveram as menores produções de matéria seca (Quadro 6). Quando as doses de Zn e de Cu variaram, as plantas que apresentaram as menores produções foram as cultivadas no LVA3 (Quadro 7). Esses resultados se devem, entre outros fatores, aos menores teores iniciais que esses dois solos possuem com relação aos micronutrientes supracitados (Quadro 3).

A produção de máxima eficiência econômica foi simulada considerando a de 95 % da produção máxima física ($0,95 \cdot \hat{y}_{\text{máx}}$). A menor $0,95 \cdot \hat{y}_{\text{máx}}$ foi obtida pelas plantas cultivadas no LVA1, quando as doses de Fe variaram e as dos demais micronutrientes foram mantidas constantes (Quadro 7). A maior $0,95 \cdot \hat{y}_{\text{máx}}$ foi apresentada pelas plantas de milho cultivadas no LVA2, quando as doses de Cu foram variáveis e as de Fe, Mn e Zn ficaram constantes (Quadro 7).

O LVA3 foi o solo que necessitou da maior adição Fe para que as plantas atingissem 95 % da produção máxima (Quadro 7). Esse resultado reflete ao maior teor de argila e de MO presentes no LVA3, que aumentam a adsorção de Fe, que diminui a disponibilidade desse micronutriente para as plantas. Por isso, são necessárias adubações com este micronutriente. O pH encontrado no LVA3 após aplicação do calcário também favoreceu a menor disponibilidade de Fe para as plantas de milho.

Para os solos LVA1 e LVA2 não ocorreu recomendação de aplicação de Fe (Quadro 7). Para o LVA1, os teores iniciais de Fe já eram suficientes para que as plantas se desenvolverem de modo satisfatório. Para o LVA2, além de apresentar altos teores iniciais de Fe (Quadro 3), o maior valor do intercepto das equações de produção de matéria seca em relação a produção de máxima eficiência econômica, indicou a não aplicação de Fe (Quadro 7).

A dose recomendável de Mn variou entre os solos de 13,49 a 50,87 mg/dm³, sendo a menor para o solo LVA2 e a maior para o LVA1 (Quadro 7). Estes dois

solos são os que apresentam os maiores e menores teores disponíveis desse micronutriente (Quadro 3).

Pelos modelos de regressão, na dose zero de Mn as plantas cultivadas no LVA1, LVA2 e LVA3 produziram respectivamente 22,52, 30,97 e 27,69 g/vaso. A aplicação das doses recomendáveis de Mn no LVA1, LVA2 e LVA3 irá aumentar a produção de matéria seca em 18,5 % e 12,7 % e 5,6 % respectivamente.

A maior dose de Zn necessária para atingir 95 % da produção máxima ocorreu no LVA3 (Quadro 7). O LVA3 possui os maiores teores de argila e de MO (Quadro 3), e o maior pH após a incubação com calcário (Quadro 5), esses fatores diminuí a disponibilidade de Zn para as plantas, havendo necessidade de maiores aplicações desse micronutriente.

A produção de matéria seca das plantas cultivadas no LVA3 aumenta em 59,3 % quando se aplica a dose recomendada de Zn (Quadro 7). Para os outros dois solos o aumento na produção é menor, 9,0 e 5,7 % respectivamente para o LVA1 e LVA2.

Não houve recomendação de aplicar doses de Cu para nenhum solo (Quadro 7). No LVA2, os teores iniciais de Cu já foram suficientes para que as plantas apresentassem boas produções de matéria seca. No LVA1 e LVA3, o maior valor dos interceptos das equações de produção de matéria seca em relação aos valores da $0,95 \cdot \hat{y}_{\text{máx}}$, fez com que não se recomendasse a aplicação de Cu (Quadro 7).

Quadro 7. Equações de produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (*mMS_PA*) (\hat{y} , g/vaso) em função das doses de Fe, Mn, Zn e Cu (x , mg/dm³) aplicadas a cada solo, 95 % da produção máxima (0,95- $\hat{y}_{\text{máx}}$) e doses de Fe, Mn, Zn e de Cu ($drFe$, $drMn$, $drZn$ e $drCu$) para atingi-la

Solo	Equação	R ²	0,95- $\hat{y}_{\text{máx}}$ g/vaso	dr
	Fe			
			0,95- $\hat{y}_{\text{máx}}$	$drFe$
			g/vaso	mg/dm ³
LVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 22,98$	-	22,98	0,00
LVA2	$\hat{y} = 36,81 + 0,0476^{***} x - 0,00046^{***} x^2$	0,901	36,14	0,00
LVA3	$\hat{y} = 25,74 + 0,0539^{***} x - 0,00014^{\Delta} x^2$	0,830	29,38	87,40
	Mn			
			0,95- $\hat{y}_{\text{máx}}$	$drMn$
			g/vaso	mg/dm ³
LVA1	$\hat{y} = 22,52 + 0,1365^{**} x - 0,00071^{**} x^2$	0,979	27,63	50,87
LVA2	$\hat{y} = 30,97 + 1,6026^{***} x^{0,5} - 0,1003^{*} x$	0,974	35,50	13,49
LVA3	$\hat{y} = \bar{y} = 29,72$	-	29,72	0,00
	Zn			
			0,95- $\hat{y}_{\text{máx}}$	$drZn$
			g/vaso	mg/dm ³
LVA1	$\hat{y} = 23,49 + 1,2377^{\circ} x^{0,5} - 0,1041^{*} x$	0,909	25,81	5,44
LVA2	$\hat{y} = 32,95 + 2,4236^{***} x^{0,5} - 0,3831^{**} x$	0,915	34,94	0,94
LVA3	$\hat{y} = 12,40 + 7,2052^{***} x^{0,5} - 0,6594^{****} x$	0,940	30,48	15,24
	Cu			
			0,95- $\hat{y}_{\text{máx}}$	$drCu$
			g/vaso	mg/dm ³
LVA1	$\hat{y} = 30,89 - 4,2649^{***} x^{0,5} + 0,7579^{\Delta} x$	0,980	23,65	0,00
LVA2	$\hat{y} = \bar{y} = 39,28$	-	39,28	0,00
LVA3	$\hat{y} = 27,25 + 0,2119^{**} x$	0,812	25,98	0,00

^Δ, [°], ^{*}, ^{**} e ^{***}. Significativo a 25, 10, 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

3.2. Níveis críticos e taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e de Cu

Houve grande variação dos teores de Fe recuperados pelos três extratores nos três solos utilizados nesta pesquisa (Quadro 8). Esses resultados se deve as características particulares de cada método, como concentração das soluções extratoras, tempo de agitação, relação solo:solução, bem como as características de cada solo.

Os extratores ácidos extraíram maiores teores de Fe nos solos (Quadro 8). Aspiazú (2003) pesquisou os extratores M1, M3 e DTPA na determinação de Fe em solos de diferentes texturas de Minas Gerais e da Bahia. Este autor aplicou doses crescentes de Fe e constatou que, tanto o M1, quanto o M3, extraíram teores

similares de Fe, já o DTPA foi o extrator que recuperou os menores teores desse micronutriente. Silva et al. (2009) definiram métodos para análise de Fe em solos do Estado do Paraná, cultivados com soja. Foram testados diferentes relações solo:extrator, para o M1 (1:5 ou 1:10), M3 (1:10) e DTPA (1:2). Os autores constataram que houve equivalência na extração do Fe entre os três extratores. Rodrigues et al. (2001) compararam estes mesmos extratores na determinação do Fe em solos da Amazônia. Nesse trabalho, o extrator M3 extraiu maiores teores de Fe que o M1 e o DTPA; e, o mais importante, obteve os melhores coeficientes de correlação entre os teores disponíveis de Fe com o conteúdo na planta.

O M1 é o extrator mais ácido que o M3 e o DTPA. Ele solubiliza compostos que contem Fe extraíndo maiores quantidade de Fe que o M3 e o DTPA.

O M3 é menos ácido que o M1, mas mesmo assim, na extração de Fe com o M3, ocorre a solubilização de compostos que contem esse micronutriente. A presença do EDTA na composição do M3 permite que este extrator retire o Fe do solo por complexação. Outro mecanismo de extração de Fe pelo M3 é por meio da troca de Fe pelo NH_4^+ que está presente na composição do M3.

Para o extrator DTPA o mecanismo de extração mais importante é a complexação. A atividade dos íons de Fe em solução é reduzida mediante a formação de complexos solúveis. Para que possam manter a sua atividade em solução, estes íons são desorvidos dos sítios de troca ou dissolvidos das fases sólidas. O pH do DTPA é praticamente inalterado no momento da extração, ficando o mesmo próximo ao dos solos, não ocorrendo portanto, a solubilização dos compostos de Fe.

O M1 apresenta maior poder de extração de Fe em relação aos outros dois extratores e com isso ele retira formas de Fe que as plantas não tem acesso no momento do cultivo. Para fins de análises de solo, esta situação não é desejável, pois, o ideal é que o extrator retire do solo uma quantidade de nutriente que apresenta estreita correlação com a quantidade absorvida e acumulada pela planta.

Quando as doses de Fe foram variáveis e as dos demais micronutrientes mantidas constantes, os teores de Fe recuperados pelo M1 no LVA1 foram de 95,01 a 233,19 mg/dm^3 , pelo M3 de 57,00 a 176,54 mg/dm^3 e para o DTPA 7,06 a 121,43 mg/dm^3 .

No LVA2 os teores de Fe pelo M1 foram de 109,61 a 199,84 mg/dm³, pelo M3 de 124,46 a 180,42 mg/dm³ e pelo DTPA 7,45 a 57,93 mg/dm³. No LVA3 os teores de Fe pelo M1 foram de 158,67 a 249,48 mg/dm³, pelo M3 de 129,36 a 211,53 mg/dm³ e pelo DTPA 4,82 a 30,15 mg/dm³.

Quadro 8. Teores de Fe disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdFe_M1*), Mehlich-3 (*tdFe_M3*) e DTPA (*tdFe_DTPA*) em função das doses de Fe aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>tdFe_M1</i>	<i>tdFe_M3</i>	<i>tdFe_DTPA</i>	
-----mg/dm ³ -----								
LVA1	0,0	30,0	10,0	4,0	95,01	57,00	7,06	
	20,0	30,0	10,0	4,0	98,54	69,06	12,12	
	40,0	30,0	10,0	4,0	130,95	80,54	23,53	
	80,0	30,0	10,0	4,0	138,70	103,09	36,33	
	120,0	30,0	10,0	4,0	146,93	114,35	39,96	
	200,0	30,0	10,0	4,0	233,19	176,54	121,43	
	Média					140,55	100,10	40,07
	40,0	0,0	10,0	4,0	120,77	91,07	18,61	
	40,0	15,0	10,0	4,0	115,22	84,41	18,71	
	40,0	30,0	10,0	4,0	121,64	82,64	19,52	
	40,0	60,0	10,0	4,0	111,84	84,58	17,23	
	40,0	90,0	10,0	4,0	111,02	84,68	16,31	
	40,0	150,0	10,0	4,0	114,13	80,33	17,40	
	Média					115,77	84,62	17,96
	40,0	30,0	0,0	4,0	115,23	85,78	16,77	
	40,0	30,0	5,0	4,0	121,46	90,28	20,42	
	40,0	30,0	10,0	4,0	119,92	88,57	16,93	
	40,0	30,0	20,0	4,0	109,97	82,92	16,66	
	40,0	30,0	30,0	4,0	107,91	79,33	15,83	
40,0	30,0	50,0	4,0	113,65	85,40	15,27		
Média					114,69	85,38	16,98	
40,0	30,0	10,0	0,0	112,82	78,62	16,71		
40,0	30,0	10,0	2,0	112,47	82,64	17,83		
40,0	30,0	10,0	4,0	113,04	86,46	16,90		
40,0	30,0	10,0	8,0	117,19	84,41	16,42		
40,0	30,0	10,0	12,0	114,71	76,62	18,13		
40,0	30,0	10,0	20,0	113,23	85,01	21,12		
Média					113,91	82,29	17,85	

Continua...

Quadro 8 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	tdFe_M1	tdFe_M3	tdFe_DTPA
-----mg/dm ³ -----							
LVA2	0,0	30,0	10,0	4,0	109,61	124,46	7,45
	20,0	30,0	10,0	4,0	129,85	101,93	10,39
	40,0	30,0	10,0	4,0	129,99	117,62	13,71
	80,0	30,0	10,0	4,0	160,84	143,32	24,16
	120,0	30,0	10,0	4,0	159,29	161,02	31,47
	200,0	30,0	10,0	4,0	199,84	180,42	57,93
	Média				148,24	138,13	24,19
	40,0	0,0	10,0	4,0	132,44	120,96	15,32
	40,0	15,0	10,0	4,0	133,33	130,86	13,70
	40,0	30,0	10,0	4,0	125,83	119,23	13,35
	40,0	60,0	10,0	4,0	135,92	122,49	13,34
	40,0	90,0	10,0	4,0	125,87	119,22	13,12
	40,0	150,0	10,0	4,0	144,53	128,01	14,34
	Média				132,99	123,46	13,86
	40,0	30,0	0,0	4,0	140,89	126,66	15,43
	40,0	30,0	5,0	4,0	139,67	120,87	15,19
	40,0	30,0	10,0	4,0	143,61	125,22	12,82
	40,0	30,0	20,0	4,0	133,23	121,20	13,20
	40,0	30,0	30,0	4,0	132,42	126,92	13,18
	40,0	30,0	50,0	4,0	136,48	134,46	12,86
	Média				137,72	125,89	13,78
	40,0	30,0	10,0	0,0	159,65	112,03	13,81
	40,0	30,0	10,0	2,0	133,69	121,33	13,29
	40,0	30,0	10,0	4,0	133,60	131,90	13,54
	40,0	30,0	10,0	8,0	134,70	126,22	14,35
	40,0	30,0	10,0	12,0	131,27	130,44	13,16
	40,0	30,0	10,0	20,0	133,62	150,11	11,42
	Média				137,76	128,67	13,26

Continua...

Quadro 8 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>tdFe_M1</i>	<i>tdFe_M3</i>	<i>tdFe_DTPA</i>	
-----mg/dm ³ -----								
LVA3	0,0	30,0	10,0	4,0	158,87	138,49	4,82	
	20,0	30,0	10,0	4,0	171,95	129,36	6,27	
	40,0	30,0	10,0	4,0	158,67	146,16	6,38	
	80,0	30,0	10,0	4,0	193,49	159,96	9,54	
	120,0	30,0	10,0	4,0	222,71	168,31	14,52	
	200,0	30,0	10,0	4,0	249,48	211,53	30,15	
		Média				192,53	158,97	11,95
	40,0	0,0	10,0	4,0	195,78	148,73	7,80	
	40,0	15,0	10,0	4,0	169,79	151,52	6,11	
	40,0	30,0	10,0	4,0	145,16	155,18	6,31	
	40,0	60,0	10,0	4,0	159,86	110,01	4,92	
	40,0	90,0	10,0	4,0	165,51	151,01	6,02	
	40,0	150,0	10,0	4,0	166,29	114,63	5,42	
		Média				167,07	138,51	6,10
	40,0	30,0	0,0	4,0	165,24	127,58	7,83	
	40,0	30,0	5,0	4,0	173,37	123,37	5,61	
	40,0	30,0	10,0	4,0	157,08	148,52	7,68	
	40,0	30,0	20,0	4,0	145,53	134,55	5,68	
	40,0	30,0	30,0	4,0	154,26	148,93	5,28	
	40,0	30,0	50,0	4,0	160,02	147,41	6,14	
		Média				159,25	138,39	6,37
	40,0	30,0	10,0	0,0	166,15	129,75	5,88	
	40,0	30,0	10,0	2,0	199,53	136,57	6,07	
	40,0	30,0	10,0	4,0	133,00	129,19	2,93	
	40,0	30,0	10,0	8,0	180,79	138,52	7,32	
	40,0	30,0	10,0	12,0	148,23	126,44	6,42	
	40,0	30,0	10,0	20,0	189,80	153,39	7,24	
		Média				169,58	135,64	5,98

O modelo linear apresentou o melhor ajuste para os dados dos teores recuperados de Fe em função das doses adicionadas desse micronutriente nos três solos (Quadro 9). Os solos em estudo possuem diferentes capacidades tampão de Fe, pois, apresentaram para os três extratores diferenças nas declividades das equações entre o teor de Fe recuperado e o adicionado de Fe (Quadro 9).

O M1 foi o extrator que recuperou os maiores teores de Fe, nos três solos, indicado pelos maiores interceptos das equações do M1 em comparação aos interceptos das equações do M3 e DTPA (Quadro 9).

Houve uma grande variação nos valores dos níveis críticos de Fe entre os solos e os extratores (Quadro 9). Os menores níveis críticos de Fe foram obtidos pelo DTPA e os maiores pelo M1.

Os maiores níveis críticos de Fe ocorrem no LVA3 (Quadro 9). O LVA3 é o solo mais argiloso com elevada capacidade de adsorção de Fe, exigindo assim, a aplicação da maior dose de Fe.

Os três solos apresentaram níveis críticos de Fe pelo M1 acima do valor proposto por Alvarez et al. (1999) para os solos de Minas Gerais, 30 mg/dm³ (Quadro 9). Os solos LVA1 e LVA2 apresentaram níveis críticos de Fe pelo DTPA abaixo do valor proposto para os solos de São Paulo, que é de 12,0 mg/dm³ (Raij et al., 1997).

Os níveis críticos de Fe para os três solos pelos extratores M1 e M3 no experimento um (Quadro 10 do capítulo 1) foram superiores aos obtidos para os mesmos solos pelos mesmos extratores no experimento dois (Quadro 9 do capítulo 2). Para o DTPA ocorreu o contrário. No experimento do capítulo 1 as doses foram aplicadas em conjunto, já no experimento do capítulo 2 as doses de um dos micronutrientes foram variáveis e as dos demais mantidas constantes.

Nos três solos, as taxas de recuperação de Fe em média foram maiores pelo M1 (51,8 %), seguido pelo M3 (44,2 %) e as mais baixas pelo DTPA (30,4 %). Aspiazú (2003) encontrou taxas de recuperação de Fe menores pelos mesmos extratores comparadas as desta pesquisa.

As menores taxas de recuperação de Fe foram encontradas nos solos LVA2 e LVA3 para todos os três extratores (Quadro 9). Esses solos são os que apresentam maiores teores de argila (Quadro 2) o que dificulta a extração de Fe pelos extratores químicos, porque o Fe fica mais fortemente ligado aos minerais de argila. O LVA1 apresentou as maiores taxas de recuperação de Fe pelos três extratores (Quadro 9). No LVA1 o Fe está menos adsorvido aos colóides do solo, pois o LVA1 apresenta os menores teores de argila e com isso ocorre menor dificuldade dos extratores em retirar o Fe.

Em média as taxas de recuperação de Fe obtidas pelos três extratores no experimento do capítulo 1 (Quadro 10, do capítulo 1) foram similares as taxas de recuperação desse micronutriente pelos mesmos três extratores no experimento do capítulo 2 (Quadro 9, do capítulo 2).

Nos dois experimentos, o LVA1 foi o solo que apresentou as maiores taxas de recuperação de Fe e o LVA3 as menores. Essa diferença se deve a textura contrastante entre esses dois solos (Quadro 2).

Quadro 9. Equações dos teores de Fe recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdFe_M1$), Mehlich-3 ($tdFe_M3$) e DTPA ($tdFe_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm^3) em função das doses de Fe (x , mg/dm^3) aplicadas em três solos, nível crítico de Fe e a taxa de recuperação de Fe por Mehlich-1 ($trFe_M1$), Mehlich-3 ($trFe_M3$) e DTPA ($trFe_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm^3	$trFe_M1$
LVA1	$\hat{y} = 90,65 + 0,651^{***} x$	0,929	90,65	0,651
LVA2	$\hat{y} = 116,05 + 0,419^{***} x$	0,950	116,05	0,419
LVA3	$\hat{y} = 155,44 + 0,484^{**} x$	0,940	197,74	0,484
	Média		134,81	0,518
	M3			$trFe_M3$
LVA1	$\hat{y} = 56,00 + 0,575^{***} x$	0,981	56,00	0,575
LVA2	$\hat{y} = 110,07 + 0,366^{***} x$	0,866	110,07	0,366
LVA3	$\hat{y} = 129,43 + 0,385^{***} x$	0,948	163,08	0,385
	Média		109,72	0,442
	DTPA			$trFe_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = -0,97 + 0,535^* x$	0,899	0,00	0,535
LVA2	$\hat{y} = 4,90 + 0,252^{**} x$	0,983	4,90	0,252
LVA3	$\hat{y} = 2,42 + 0,124^{**} x$	0,929	13,26	0,124
	Média		6,05	0,304

*, ** e ***. Significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Os teores recuperados de Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA aumentaram com as doses desse micronutriente aplicadas nos três solos (Quadro 10). O extrator DTPA recuperou os menores teores de Mn, e o M1 os maiores.

Abreu et al. (2004), compararam métodos de extração de Mn em 44 amostras de solos do Estado de São Paulo. Esses autores observaram que, tanto o M1 quanto o M3, extraíram maiores teores disponíveis de Mn que o DTPA. A maior extração de Mn pelo M1 e M3 é devida a liberação do Mn ligado ao Fe, que ocorre durante a extração, pela ação solubilizadora desses extratores. Fato que não ocorre com o DTPA, pois, o pH do DTPA é praticamente inalterado durante a extração do Mn.

Os maiores teores de Mn foram recuperados no LVA1 (Quadro 10). O LVA1 é o solo com os menores teores de argila (Quadro 2), assim, o Mn fica em maior concentração na solução desse solo, o que facilita a retirada do Mn pelos extratores.

Os menores teores de Mn foram recuperados no LVA3 (Quadro 9). Os altos teores de argila e a maior presença de MO faz com que o Mn fique mais adsorvido no LVA3. O alto pH do LVA3 também foi um fator para que nesse solo, os extratores recuperassem os menores teores de Mn.

Quando as doses dos micronutrientes Fe, Zn e Cu foram variáveis e as de Mn foram constantes, a recuperação de Mn pelos três extratores em média foi similar (Quadro 10). Isto indica que não ocorreu influência das doses crescentes de Fe, Zn e Cu na extração de Mn.

Quadro 10. Teores de Mn disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdMn_M1*), Mehlich-3 (*tdMn_M3*) e DTPA (*tdMn_DTPA*) em função das doses de Mn (mg/dm^3) aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>tdMn_M1</i>	<i>tdMn_M3</i>	<i>tdMn_DTPA</i>	
-----mg/dm ³ -----								
LVA1	0,0	30,0	10,0	4,0	31,92	25,95	14,10	
	20,0	30,0	10,0	4,0	36,01	30,62	23,33	
	40,0	30,0	10,0	4,0	35,33	27,41	31,17	
	80,0	30,0	10,0	4,0	36,63	32,31	28,80	
	120,0	30,0	10,0	4,0	30,74	23,11	21,59	
	200,0	30,0	10,0	4,0	40,03	28,17	35,65	
	Média					35,11	27,93	25,77
	40,0	0,0	10,0	4,0	8,79	5,24	2,10	
	40,0	15,0	10,0	4,0	24,54	17,37	14,72	
	40,0	30,0	10,0	4,0	38,11	28,18	20,48	
	40,0	60,0	10,0	4,0	55,53	47,60	48,64	
	40,0	90,0	10,0	4,0	92,42	59,71	62,07	
	40,0	150,0	10,0	4,0	135,09	120,58	113,21	
	Média					59,08	46,45	43,54
	40,0	30,0	0,0	4,0	32,07	30,92	24,36	
40,0	30,0	5,0	4,0	36,96	28,98	29,34		
40,0	30,0	10,0	4,0	34,53	30,66	21,56		
40,0	30,0	20,0	4,0	32,69	28,40	25,60		
40,0	30,0	30,0	4,0	26,14	18,84	16,37		
40,0	30,0	50,0	4,0	37,68	29,35	27,06		
Média					33,35	27,86	24,05	
40,0	30,0	10,0	0,0	33,25	20,89	21,26		
40,0	30,0	10,0	2,0	37,60	27,11	23,29		
40,0	30,0	10,0	4,0	30,01	25,15	25,25		
40,0	30,0	10,0	8,0	29,57	24,44	22,87		
40,0	30,0	10,0	12,0	32,01	29,60	22,29		
40,0	30,0	10,0	20,0	36,11	27,95	27,28		
Média					33,09	25,86	23,71	

Continua ...

Quadro 10 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>td</i> Mn_M1	<i>td</i> Mn_M3	<i>td</i> Mn_DTPA	
-----mg/dm ³ -----								
LVA2	0,0	30,0	10,0	4,0	26,42	21,29	10,03	
	20,0	30,0	10,0	4,0	32,62	24,39	13,08	
	40,0	30,0	10,0	4,0	31,67	22,10	10,77	
	80,0	30,0	10,0	4,0	31,40	23,15	10,37	
	120,0	30,0	10,0	4,0	29,09	21,11	8,69	
	200,0	30,0	10,0	4,0	30,55	21,30	10,61	
	Média					30,29	22,22	10,59
	40,0	0,0	10,0	4,0	9,71	3,83	1,11	
	40,0	15,0	10,0	4,0	18,97	11,16	5,23	
	40,0	30,0	10,0	4,0	31,74	22,36	10,99	
	40,0	60,0	10,0	4,0	48,54	32,63	21,25	
	40,0	90,0	10,0	4,0	75,51	58,90	35,36	
	40,0	150,0	10,0	4,0	109,46	81,74	41,52	
	Média					48,99	35,10	19,24
	40,0	30,0	0,0	4,0	33,52	24,70	11,40	
	40,0	30,0	5,0	4,0	32,25	22,13	11,35	
	40,0	30,0	10,0	4,0	26,74	18,30	8,33	
	40,0	30,0	20,0	4,0	31,56	23,82	13,44	
	40,0	30,0	30,0	4,0	33,34	24,75	13,25	
40,0	30,0	50,0	4,0	30,93	23,49	11,79		
Média					31,39	22,87	11,59	
40,0	30,0	10,0	0,0	32,83	24,66	10,39		
40,0	30,0	10,0	2,0	31,45	22,69	10,52		
40,0	30,0	10,0	4,0	29,43	22,43	10,48		
40,0	30,0	10,0	8,0	33,27	22,67	12,54		
40,0	30,0	10,0	12,0	31,06	22,62	10,32		
40,0	30,0	10,0	20,0	31,80	25,82	11,54		
Média					31,64	23,48	10,97	

Continua ...

Quadro 10 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	tdMn_M1	tdMn_M3	tdMn_DTPA	
-----mg/dm ³ -----								
LVA3	0,0	30,0	10,0	4,0	23,90	20,32	4,59	
	20,0	30,0	10,0	4,0	22,61	19,99	6,06	
	40,0	30,0	10,0	4,0	23,98	22,66	5,23	
	80,0	30,0	10,0	4,0	26,98	25,01	7,39	
	120,0	30,0	10,0	4,0	25,36	19,44	6,27	
	200,0	30,0	10,0	4,0	25,71	24,38	7,20	
	Média					24,76	21,97	6,12
	40,0	0,0	10,0	4,0	2,34	1,70	0,38	
	40,0	15,0	10,0	4,0	14,12	13,02	4,54	
	40,0	30,0	10,0	4,0	21,67	21,73	6,04	
	40,0	60,0	10,0	4,0	40,73	36,76	15,29	
	40,0	90,0	10,0	4,0	68,87	65,93	24,49	
	40,0	150,0	10,0	4,0	115,50	120,21	44,03	
	Média					43,87	43,23	15,80
	40,0	30,0	0,0	4,0	25,06	22,87	9,35	
40,0	30,0	5,0	4,0	25,56	23,31	6,42		
40,0	30,0	10,0	4,0	23,94	22,51	7,69		
40,0	30,0	20,0	4,0	25,01	20,06	5,41		
40,0	30,0	30,0	4,0	26,80	22,44	7,08		
40,0	30,0	50,0	4,0	24,10	21,06	6,08		
Média					25,08	22,04	7,01	
40,0	30,0	10,0	0,0	20,46	16,72	5,21		
40,0	30,0	10,0	2,0	21,92	19,48	5,96		
40,0	30,0	10,0	4,0	24,20	14,89	4,20		
40,0	30,0	10,0	8,0	26,73	22,94	8,13		
40,0	30,0	10,0	12,0	21,89	16,49	7,00		
40,0	30,0	10,0	20,0	25,34	23,38	5,44		
Média					23,42	18,98	5,99	

O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados dos teores recuperados de Mn em função das doses desse micronutriente aplicadas nos três solos (Quadro 11). Os valores dos interceptos das equações, indica que o DTPA recuperou os menores teores de Mn e o M1 os maiores (Quadro 11).

Na dose zero de Mn, o LVA3 foi o solo que apresentou os menores teores recuperados desse micronutriente pelos três extratores (Quadro 11). O LVA3 é o solo com os maiores teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3), assim, o Mn fica mais adsorvido aos colóides do solo.

O teor de argila do solo foi uma das características responsáveis pela grande variação dos níveis críticos de Mn entre os solos e os extratores (Quadro 11). Em média nos três solos os menores níveis críticos de Mn foram obtidos pelo extrator DTPA (18,15 mg/dm³) e os maiores pelo M1 (31,46 mg/dm³). O DTPA é o

extrator com menor poder de extração e o M1 é o extrator com maior poder de extração de Mn.

Os níveis críticos de Mn obtidos pelo extrator M1, neste estudo estão em média 74,57 e 72,45 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999) e por Raij et al. (1997). É importante lembrar que os níveis críticos de Mn propostos tanto por Alvarez et al. (1999) e por Raij et al. (1997) são a nível de experimento de campo, e os obtidos nesta pesquisa foram em experimento em casa de vegetação.

Os níveis críticos de Mn obtidos pelos extratores no experimento do capítulo 1 (Quadro 12, do capítulo 1) foram em média superiores aos obtidos no experimento do capítulo 2 (Quadro 11).

As menores taxas de recuperação de Mn foram registradas pelo DTPA e as maiores pelo M1 (Quadro 11). O M1 conseguiu recuperar os maiores teores de Mn do que o DTPA, porque ele é mais ácido.

Os solos com textura argilosa, LVA2 e LVA3, apresentaram taxas de recuperação de Mn semelhantes pelo extrator DTPA, e bem menores que as taxas de recuperação do LVA1, solo de textura menos argilosa (Quadro 11). Pelo M3, o LVA1 e o LVA3 solos de textura diferentes apresentaram taxas de recuperação de Mn similares (Quadro 11).

As taxas de recuperação de Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 75,80 %; 68,40 % e 43,6 % do Mn adicionado. Aspiazú (2003) aplicou doses crescentes de Mn em solos de Minas Gerais e da Bahia e encontrou as seguintes taxas de recuperação de Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA, respectivamente, 88,18 %, 90,73 % e 69,46 %.

Quadro 11. Equações dos teores de Mn recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdMn_M1$), Mehlich-3 ($tdMn_M3$) e DTPA ($tdMn_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm^3) em função das doses Mn (x , mg/dm^3) em três solos, nível crítico de Mn e a taxa de recuperação de Mn por Mehlich-1 ($trMn_M1$), Mehlich-3 ($trMn_M3$) e DTPA ($trMn_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm^3	$trMn_M1$
LVA1	$\hat{y}= 10,66 + 0,842^{***} x$	0,993	53,76	0,842
LVA2	$\hat{y}= 10,14 + 0,676^{***} x$	0,995	19,37	0,676
LVA3	$\hat{y}= 0,46 + 0,755^{***} x$	0,996	21,25	0,755
	Média		31,46	0,758
	M3			$trMn_M3$
LVA1	$\hat{y}= 4,13 + 0,736^{**} x$	0,981	41,57	0,736
LVA2	$\hat{y}= 4,48 + 0,533^{***} x$	0,985	11,67	0,533
LVA3	$\hat{y}= - 1,72 + 0,782^{***} x$	0,987	20,17	0,782
	Média		24,47	0,684
	DTPA			$trMn_DTPA$
LVA1	$\hat{y}= 1,58 + 0,729^{***} x$	0,993	38,67	0,729
LVA2	$\hat{y}= 2,71 + 0,288^* x$	0,947	6,59	0,288
LVA3	$\hat{y}= - 1,01 + 0,292^{***} x$	0,993	9,18	0,292
	Média		18,15	0,436

*,** e ***. Significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente

Os maiores teores de Zn foram recuperados pelo M1 e M3 e os menores pelo DTPA (Quadro 12). No LVA1, o extrator M1 e M3 conseguiram retirar teores de Zn similares. No LVA2 e LVA3, o M1 obteve uma ligeira superioridade em relação ao M3 na extração do Zn (Quadro 12).

Em média nos três solos, o M1 extraiu $10,33 mg/dm^3$, o M3 $8,50 mg/dm^3$ e o DTPA $5,10 mg/dm^3$ de Zn. Resultados semelhantes foram encontrados por Menezes et al. (2010), Santos Neto (2003), Nascimento (2001) e Oliveira (1999), onde o M1 foi o extrator que conseguiu recuperar maiores quantidades de Zn.

A diferença na quantidade de Zn extraída pelos extratores se deve aos diferentes mecanismos de extração, como por exemplo, tipo de constituintes, relação solo:solução e tempo de contato.

O M1 é composto por dois ácidos fortes, porém diluídos. Ele apresenta um pH em torno de 1,2, e o principal mecanismo de extração do Zn é a solubilização de formas precipitadas desse micronutriente. O M1 pode também extrair o Zn por meio de troca. Com dissolução ácida, o M1 acessa formas de Zn que as plantas não tem acesso de forma imediata. O extrator M1, foi desenvolvido inicialmente para a extração de P em solos ácidos e com baixa CTC, porém, no Brasil em laboratórios de rotina ele é o mais utilizado na extração de Zn.

O M3 é menos ácido que o M1, e a recuperação de Zn pelo M3 pela solubilização ácida de compostos que contem Zn é menor. Assim, o M3 retira a maior quantidade de Zn do solo pela complexação do EDTA com o Zn presente no solo e também pela troca com o NH_4^+ .

Na extração de Zn pelo DTPA, o pH desse extrator é praticamente inalterado no momento da extração, desse modo não ocorre a solubilização de compostos de Zn. Assim, o principal mecanismo de ação do DTPA é a complexação. A atividade do Zn na solução do solo é reduzida, devido a formação de complexos solúveis pelo DTPA, que é um agente quelante.

O LVA1 foi o solo que apresentou os maiores teores de Zn recuperados pelos extratores (Quadro 12). O LVA1 é o solo com menores teores de argila (Quadro 2), e a adsorção de Zn é menor, possibilitando assim, uma maior extração de Zn pelos extratores nesse solo.

Os menores teores de Zn foram encontrados pelos três extratores no LVA3 (Quadro 12). Ele é o solo mais argiloso e com o maior teor de MO, e a maior adsorção de Zn nesse solo dificulta a ação dos extratores e também a disponibilidade desse micronutriente para as plantas. O pH do LVA3 foi o maior entre os solos (Quadro 5). Em solos com pH elevado a adsorção de Zn é maior e a disponibilidade para as plantas é menor.

Os micronutrientes Fe, Mn e Cu não interferiram na extração de Zn pelos extratores (Quadro 12). Porque, não ocorreu diferença nas médias dos teores de Zn recuperados pelos extratores quando as doses dos outros três micronutrientes eram variáveis (Quadro 12).

Quadro 12. Teores de Zn disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdZn_M1*), Mehlich-3 (*tdZn_M3*) e DTPA (*tdZn_DTPA*) em função das doses de Zn aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>tdZn_M1</i>	<i>tdZn_M3</i>	<i>tdZn_DTPA</i>	
-----mg/dm ³ -----								
LVA1	0,0	30,0	10,0	4,0	8,47	7,80	5,39	
	20,0	30,0	10,0	4,0	9,49	9,27	7,03	
	40,0	30,0	10,0	4,0	11,27	10,22	8,27	
	80,0	30,0	10,0	4,0	9,78	10,62	7,81	
	120,0	30,0	10,0	4,0	8,81	8,21	6,05	
	200,0	30,0	10,0	4,0	11,81	12,19	9,43	
	Média					9,94	9,72	7,33
	40,0	0,0	10,0	4,0	8,64	9,26	5,80	
	40,0	15,0	10,0	4,0	11,61	12,06	8,13	
	40,0	30,0	10,0	4,0	8,89	10,15	7,47	
	40,0	60,0	10,0	4,0	9,63	9,03	7,58	
	40,0	90,0	10,0	4,0	9,16	8,62	5,55	
	40,0	150,0	10,0	4,0	10,00	9,66	6,90	
	Média					9,66	9,80	6,91
	40,0	30,0	0,0	4,0	0,53	0,24	0,38	
	40,0	30,0	5,0	4,0	5,89	5,55	4,13	
	40,0	30,0	10,0	4,0	9,74	9,16	5,68	
	40,0	30,0	20,0	4,0	17,10	15,46	8,52	
	40,0	30,0	30,0	4,0	21,52	20,65	14,64	
	40,0	30,0	50,0	4,0	45,53	41,72	38,45	
	Média					16,72	15,46	11,97
40,0	30,0	10,0	0,0	6,89	8,62	5,82		
40,0	30,0	10,0	2,0	11,60	9,50	6,51		
40,0	30,0	10,0	4,0	10,74	9,93	7,12		
40,0	30,0	10,0	8,0	8,35	9,01	6,21		
40,0	30,0	10,0	12,0	11,85	10,65	6,02		
40,0	30,0	10,0	20,0	11,92	10,78	7,85		
Média					10,23	9,75	6,59	

Continua...

Quadro 12 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>td</i> Zn_M1	<i>td</i> Zn_M3	<i>td</i> Zn_DTPA
-----mg/dm ³ -----							
LVA2	0,0	30,0	10,0	4,0	6,12	6,00	2,35
	20,0	30,0	10,0	4,0	8,49	6,80	3,02
	40,0	30,0	10,0	4,0	6,55	5,04	2,30
	80,0	30,0	10,0	4,0	8,26	6,40	2,77
	120,0	30,0	10,0	4,0	7,67	6,64	2,53
	200,0	30,0	10,0	4,0	7,48	6,00	2,57
	Média				7,43	6,15	2,59
	40,0	0,0	10,0	4,0	7,37	5,54	3,20
	40,0	15,0	10,0	4,0	7,24	5,73	2,98
	40,0	30,0	10,0	4,0	8,34	7,14	3,21
	40,0	60,0	10,0	4,0	6,89	5,26	2,04
	40,0	90,0	10,0	4,0	7,91	5,89	2,56
	40,0	150,0	10,0	4,0	7,17	5,89	2,50
	Média				7,49	5,91	2,75
	40,0	30,0	0,0	4,0	0,64	0,45	0,24
	40,0	30,0	5,0	4,0	4,29	3,51	1,75
	40,0	30,0	10,0	4,0	6,76	5,10	3,45
	40,0	30,0	20,0	4,0	16,31	13,98	7,19
	40,0	30,0	30,0	4,0	26,76	21,67	13,68
	40,0	30,0	50,0	4,0	42,16	30,52	19,06
	Média				16,15	12,54	7,56
	40,0	30,0	10,0	0,0	8,42	6,84	2,97
	40,0	30,0	10,0	2,0	8,63	6,18	2,79
	40,0	30,0	10,0	4,0	8,15	6,73	3,09
	40,0	30,0	10,0	8,0	7,93	6,88	3,23
	40,0	30,0	10,0	12,0	7,96	6,33	2,79
	40,0	30,0	10,0	20,0	8,00	6,76	3,05
	Média				8,18	6,62	2,99

Continua...

Quadro 12 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>td</i> Zn_M1	<i>td</i> Zn_M3	<i>td</i> Zn_DTPA
-----mg/dm ³ -----							
LVA3	0,0	30,0	10,0	4,0	7,51	4,52	2,44
	20,0	30,0	10,0	4,0	6,79	4,65	2,02
	40,0	30,0	10,0	4,0	8,00	5,28	1,89
	80,0	30,0	10,0	4,0	9,00	6,14	2,90
	120,0	30,0	10,0	4,0	8,38	5,57	3,06
	200,0	30,0	10,0	4,0	7,96	5,78	2,98
		Média				7,94	5,32
40,0	0,0	10,0	4,0	7,50	5,51	2,80	
40,0	15,0	10,0	4,0	8,40	6,45	2,97	
40,0	30,0	10,0	4,0	7,65	5,16	2,58	
40,0	60,0	10,0	4,0	7,00	4,85	2,00	
40,0	90,0	10,0	4,0	7,99	6,02	2,62	
40,0	150,0	10,0	4,0	7,12	5,05	2,51	
	Média				7,61	5,51	2,58
40,0	30,0	0,0	4,0	0,22	0,10	0,14	
40,0	30,0	5,0	4,0	4,24	2,66	1,43	
40,0	30,0	10,0	4,0	7,28	4,05	2,51	
40,0	30,0	20,0	4,0	15,52	10,73	4,13	
40,0	30,0	30,0	4,0	24,22	18,10	9,85	
40,0	30,0	50,0	4,0	37,90	26,60	12,50	
	Média				14,90	10,37	5,09
40,0	30,0	10,0	0,0	7,88	4,22	2,13	
40,0	30,0	10,0	2,0	7,42	4,74	2,21	
40,0	30,0	10,0	4,0	7,95	4,52	2,38	
40,0	30,0	10,0	8,0	8,58	5,56	2,99	
40,0	30,0	10,0	12,0	7,45	4,22	2,48	
40,0	30,0	10,0	20,0	7,17	5,63	1,92	
	Média				7,74	4,82	2,35

O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados dos teores recuperados de Zn em função das doses desse micronutriente (Quadro 13).

Na dose zero, o LVA3 foi o solo que apresentou os menores teores recuperados de Zn pelos extratores M3 e DTPA. Nessa mesma dose, no LVA2, foi o M1 que conseguiu extrair os menores teores de Zn (Quadro 13). O LVA2 e o LV3 são os solos que possuem os maiores teores de argila e a adsorção de Zn nesses dois solos é maior do que no LVA1. Assim, os extratores tem maior dificuldade em extrair o Zn em solos de textura mais argilosa. A maior presença de MO no LVA3 faz com que a adsorção de Zn nesse solo seja ainda maior.

O teor de argila e MO dos solos foram umas das características responsáveis pela grande variação nos níveis críticos de Zn entre os solos e os extratores

(Quadro 13). Os menores níveis críticos de Zn foram pelo DTPA e os maiores pelo M1.

O LVA3 apresentou os maiores níveis críticos de Zn para os três extratores. Os altos teores de argila e de MO (Quadros 2 e 3), além do elevado pH do LVA3 (Quadro 5), influenciaram para que o nível crítico de Zn no LVA3 fosse o maior (Quadro 13).

Os níveis críticos de Zn obtidos pelos solos, LVA1 e LVA3, para os extratores M1 e DTPA estão acima dos valores propostos por Alvarez et al. (1999) e por Raij et al. (1997) que é de que é 1,50 e 1,2 mg/dm³ respectivamente (Quadro 12). O LVA2 apresentou nível crítico de Zn inferior aos valores propostos para os solos de Minas Gerais e de São Paulo. Os níveis críticos de Zn obtidos nesse estudo estão em média 74,3 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999). Já os níveis críticos de Zn obtidos pelo extrator DTPA estão em média 45,0 % acima do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

As menores taxas de recuperação de Zn ocorreram pelo extrator DTPA e as maiores pelo M1 (Quadro 13). O M1 possui maior acidez e consegue promover o deslocamento de cátions adsorvidos, dissolvendo carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados o que provoca a dissolução parcial de argilas silicatadas (Pickering, 1981).

As taxas de recuperação de Zn pelos extratores M1 e M3 foram similares nos três solos (Quadro 13). Já os solos mais argilosos, LVA2 e LVA3, apresentam taxas de recuperação de Zn pelo extrator DTPA semelhantes, porém menores a obtida pelo LVA1, solo menos argiloso (Quadro 13). Mostrando que o DTPA é mais sensível em solos com maior CT de Zn.

As taxas de recuperação de Zn pelos extratores M1, M3 e DTPA foram de 82,3 %; 65,6 % e 45,8 % do Zn adicionado. Menezes et al. (2010) encontraram os seguintes valores para as taxas de recuperação de Zn em solos de Minas Gerais: M1 (66,00 %), M3 (54,00 %) e DTPA (45,74 %). Rodrigues et al. (2009) trabalharam também com solos mineiros e encontraram taxas de recuperação de Zn de 92,00 %, 72,00 % e 59,00 % para os mesmos extratores. Santos Neto (2003), aplicou doses crescentes de Zn em solos de Minas Gerais e da Bahia. Esse autor encontrou taxas de recuperação de Zn de 51,00 %, 41,00 % e 36,00 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 13. Equações dos teores de Zn recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdZn_M1$), Mehlich-3 ($tdZn_M3$) e DTPA ($tdZn_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses de Zn (x , mg/dm³) aplicadas em três solos, nível crítico de Zn e a taxa de recuperação de Zn por Mehlich-1 ($trZn_M1$), Mehlich-3 ($trZn_M3$) e DTPA ($trZn_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm ³	$trZn_M1$
LVA1	$\hat{y} = 0,37 + 0,853^{**} x$	0,978	5,01	0,853
LVA2	$\hat{y} = -0,20 + 0,853^{***} x$	0,996	0,61	0,853
LVA3	$\hat{y} = 0,27 + 0,763^{***} x$	0,998	11,90	0,763
	Média		5,84	0,823
	M3			$trZn_M3$
LVA1	$\hat{y} = 0,36 + 0,788^{**} x$	0,984	4,65	0,788
LVA2	$\hat{y} = 0,48 + 0,629^{***} x$	0,984	1,07	0,629
LVA3	$\hat{y} = -0,19 + 0,551^{***} x$	0,989	8,21	0,551
	Média		4,64	0,656
	DTPA			$trZn_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = -1,77 + 0,717^{*} x$	0,925	2,13	0,717
LVA2	$\hat{y} = -0,02 + 0,396^{***} x$	0,983	0,35	0,396
LVA3	$\hat{y} = 0,09 + 0,261^{***} x$	0,955	4,07	0,261
	Média		2,18	0,458

*,** e ***. Significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente

Como ocorreu na extração do Zn, o M1 foi ligeiramente superior ao M3 na recuperação dos teores de Cu adicionado nas amostras dos três solos. O DTPA recuperou os menores teores de Cu (Quadro 14). Em média, o extrator M1 recuperou 4,32 mg/dm³ de Cu, o M3 3,21 mg/dm³ e o DTPA 1,53 mg/dm³. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por, Rodrigues (2009), Santos Neto (2003), Nascimento (2001) e Oliveira (1999), onde o extrator M1 conseguiu recuperar os maiores teores de Cu em trabalhos realizados em casa de vegetação.

A superioridade do M1 em extrair as maiores quantidades de Cu em relação aos outros extratores se deve ao seu baixo pH (1,2), que favorece a remoção do Cu dos sítios de troca e parte daquele complexado ou adsorvido aos óxidos.

Os maiores teores de Cu foram extraídos no LVA1. Ele é o solo onde o Cu está menos adsorvido, pois o LVA1 apresenta os menores teores de argila. Os menores teores de Cu foram recuperados pelos extratores no LVA3 (Quadro 14). O LVA3 é o solo que apresenta os maiores teores de argila e de MO. Assim o Cu fica mais adsorvido nesse solo, porque faz ligações estáveis com a MO, e os extratores apresentam dificuldade em extrair o Cu do LVA3.

Quadro 14. Teores de Cu disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdCu_M1*), Mehlich-3 (*tdCu_M3*) e DTPA (*tdCu_DTPA*)) em função das doses de Cu aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>tdCu_M1</i>	<i>tdCu_M3</i>	<i>tdCu_DTPA</i>	
-----mg/dm ³ -----								
LVA1	0,0	30,0	10,0	4,0	3,20	2,67	1,84	
	20,0	30,0	10,0	4,0	4,30	3,40	2,14	
	40,0	30,0	10,0	4,0	4,30	3,69	2,49	
	80,0	30,0	10,0	4,0	2,87	3,32	2,34	
	120,0	30,0	10,0	4,0	2,87	2,34	1,69	
	200,0	30,0	10,0	4,0	3,89	3,52	2,62	
	Média					3,57	3,16	2,19
	40,0	0,0	10,0	4,0	3,38	2,88	1,92	
	40,0	15,0	10,0	4,0	3,82	3,31	2,30	
	40,0	30,0	10,0	4,0	2,96	2,46	2,46	
	40,0	60,0	10,0	4,0	3,54	2,76	2,01	
	40,0	90,0	10,0	4,0	2,82	2,42	1,65	
	40,0	150,0	10,0	4,0	3,80	3,37	2,13	
	Média					3,39	2,87	2,08
	40,0	30,0	0,0	4,0	3,86	3,06	1,89	
	40,0	30,0	5,0	4,0	4,70	3,62	2,36	
	40,0	30,0	10,0	4,0	3,29	2,61	1,77	
	40,0	30,0	20,0	4,0	3,45	3,10	2,11	
40,0	30,0	30,0	4,0	1,99	2,09	1,12		
40,0	30,0	50,0	4,0	4,48	3,14	2,39		
Média					3,63	2,94	1,94	
40,0	30,0	10,0	0,0	0,18	0,10	0,27		
40,0	30,0	10,0	2,0	1,85	1,62	0,93		
40,0	30,0	10,0	4,0	4,17	3,33	2,34		
40,0	30,0	10,0	8,0	7,95	6,14	4,02		
40,0	30,0	10,0	12,0	12,02	10,22	6,13		
40,0	30,0	10,0	20,0	20,83	17,48	13,74		
Média					7,83	6,48	4,57	

Continua...

Quadro 14 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>tdCu_M1</i>	<i>tdCu_M3</i>	<i>tdCu_DTPA</i>	
-----mg/dm ³ -----								
LVA2	0,0	30,0	10,0	4,0	4,24	3,27	0,73	
	20,0	30,0	10,0	4,0	4,87	3,53	0,91	
	40,0	30,0	10,0	4,0	4,93	3,17	1,04	
	80,0	30,0	10,0	4,0	4,83	3,36	1,09	
	120,0	30,0	10,0	4,0	4,39	3,41	0,94	
	200,0	30,0	10,0	4,0	4,30	3,07	1,04	
	Média					4,59	3,30	0,96
	40,0	0,0	10,0	4,0	4,27	3,09	1,16	
	40,0	15,0	10,0	4,0	4,16	3,01	0,97	
	40,0	30,0	10,0	4,0	4,44	3,73	1,05	
	40,0	60,0	10,0	4,0	4,00	2,52	0,87	
	40,0	90,0	10,0	4,0	4,14	3,20	1,08	
	40,0	150,0	10,0	4,0	3,77	3,02	1,25	
	Média					4,13	3,10	1,06
	40,0	30,0	0,0	4,0	4,34	3,49	1,27	
	40,0	30,0	5,0	4,0	4,53	3,26	1,35	
	40,0	30,0	10,0	4,0	4,41	3,29	1,14	
40,0	30,0	20,0	4,0	4,85	4,04	1,41		
40,0	30,0	30,0	4,0	4,88	4,28	1,39		
40,0	30,0	50,0	4,0	4,66	3,43	1,06		
Média					4,61	3,63	1,27	
40,0	30,0	10,0	0,0	2,05	1,38	0,34		
40,0	30,0	10,0	2,0	3,51	2,28	0,70		
40,0	30,0	10,0	4,0	4,30	3,39	1,06		
40,0	30,0	10,0	8,0	8,66	6,34	2,07		
40,0	30,0	10,0	12,0	9,71	6,94	2,72		
40,0	30,0	10,0	20,0	15,70	10,88	4,48		
Média					7,32	5,20	1,90	

Continua...

Quadro 14 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>td</i> Cu_M1	<i>td</i> Cu_M3	<i>td</i> Cu_DTPA	
-----mg/dm ³ -----								
LVA3	0,0	30,0	10,0	4,0	2,63	1,69	0,44	
	20,0	30,0	10,0	4,0	1,97	1,40	0,21	
	40,0	30,0	10,0	4,0	2,66	1,36	0,26	
	80,0	30,0	10,0	4,0	3,17	1,70	0,59	
	120,0	30,0	10,0	4,0	2,52	1,64	0,43	
	200,0	30,0	10,0	4,0	2,52	1,54	0,34	
	Média					2,58	1,56	0,38
	40,0	0,0	10,0	4,0	2,62	1,44	0,33	
	40,0	15,0	10,0	4,0	2,41	1,66	0,51	
	40,0	30,0	10,0	4,0	2,26	1,48	0,43	
	40,0	60,0	10,0	4,0	2,04	1,40	0,23	
	40,0	90,0	10,0	4,0	2,64	1,63	0,42	
	40,0	150,0	10,0	4,0	2,39	1,48	0,43	
	Média					2,39	1,52	0,39
	40,0	30,0	0,0	4,0	3,09	1,90	0,71	
	40,0	30,0	5,0	4,0	3,07	1,80	0,62	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,96	1,40	0,33	
	40,0	30,0	20,0	4,0	2,05	1,44	0,36	
40,0	30,0	30,0	4,0	2,70	2,09	0,50		
40,0	30,0	50,0	4,0	2,65	1,50	0,35		
Média					2,59	1,69	0,48	
40,0	30,0	10,0	0,0	0,25	0,10	0,14		
40,0	30,0	10,0	2,0	1,23	0,64	0,31		
40,0	30,0	10,0	4,0	3,02	1,49	0,50		
40,0	30,0	10,0	8,0	5,70	3,83	1,32		
40,0	30,0	10,0	12,0	7,26	4,75	1,84		
40,0	30,0	10,0	20,0	14,00	7,54	2,25		
Média					5,24	3,06	1,06	

O modelo linear foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados dos teores de Cu recuperados em função do Cu adicionado nos três solos (Quadro 15).

Como ocorreu na determinação do Fe, Mn e Zn, o DTPA foi o extrator que recuperou os menores teores de Cu nos três solos. Isso é confirmado pelos menores valores dos interceptos das equações dos teores recuperados de Cu pelos extratores (Quadro 15). Na dose zero de Cu, foi no LVA2 que os extratores recuperaram os maiores teores desse micronutriente (Quadro 15).

Os valores de níveis críticos de Cu pelos três extratores tiveram uma grande variação (Quadro 15), porque os extratores possuem diferentes mecanismos de extração e os solos apresentam diferentes CT de Cu. Os menores níveis críticos de Cu foram obtidos pelo DTPA e os maiores pelo M1 (Quadro 15).

O LVA2 foi o único solo que apresentou nível crítico de Cu obtido pelo extrator M1 superior ao valor proposto por Alvarez et al. (1999) para os solos de Minas Gerais (Quadro 15). Nenhum solo apresentou nível crítico de Cu pelo DTPA maior que o valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

Em média as menores taxas de recuperação de Cu ocorreram pelo extrator DTPA e as maiores pelo M1 (Quadro 15). O M1 consegue promover o deslocamento de cátions adsorvidos, dissolvendo carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados e provoca a dissolução parcial de argilas silicatadas (Pickering, 1981) devido ao seu baixo pH.

As taxas de recuperação de Cu pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 79,60 %; 57,60 % e 32,70 % do Cu adicionado. Rodrigues et al. (2009) encontraram em seis solos de Minas Gerais taxas de recuperação de Cu de 69,00 %, 64,00 % e 61,00 % para os mesmos extratores. Já Santos Neto (2003), aplicou doses crescentes de Cu em solos de Minas Gerais e da Bahia e encontrou as seguintes taxas de recuperação de Cu: 67,00 %, 61,00 % e 53,00 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 15. Equações dos teores de Cu recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdCu_M1$), Mehlich-3 ($tdCu_M3$) e DTPA ($tdCu_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses de Cu (x , mg/dm³) aplicadas em três solos, nível crítico de Cu e a taxa de recuperação de Cu por Mehlich-1 ($trCu_M1$), Mehlich-3 ($trCu_M3$) e DTPA ($trCu_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm ³	$trCu_M1$
LVA1	$\hat{y} = -0,09 + 1,033^{***} x$	0,999	0,00	1,033
LVA2	$\hat{y} = 2,11 + 0,679^{***} x$	0,986	2,11	0,679
LVA3	$\hat{y} = 0,07 + 0,676^{***} x$	0,991	0,07	0,676
	Média		0,73	0,796
	M3			$trCu_M3$
LVA1	$\hat{y} = -0,19 + 0,871^{***} x$	0,997	0,00	0,871
LVA2	$\hat{y} = 1,57 + 0,474^{***} x$	0,981	1,57	0,474
LVA3	$\hat{y} = 0,13 + 0,382^{***} x$	0,986	0,13	0,382
	Média		0,57	0,576
	DTPA			$trCu_DTPA$
LVA1	$\hat{y} = -0,48 + 0,659^{**} x$	0,968	0,00	0,659
LVA2	$\hat{y} = 0,29 + 0,208^{***} x$	0,998	0,29	0,208
LVA3	$\hat{y} = 0,18 + 0,114^{**} x$	0,945	0,18	0,114
	Média		0,16	0,327

** e ***. Significativo a 1 e 0,1 % respectivamente

3.3. Teores e conteúdo de Fe, Mn, Zn e Cu nas plantas de milho

Normalmente os teores foliares de Fe variam entre 10 e 1 500 mg/kg de matéria seca (Dechen e Nachtigall, 2006). Já os teores de Mn de acordo com Dechen et al. (1991) podem variar de 10 a 20 mg/kg. Leite et al. (2003) encontraram em plantas de milho cultivadas em um solo arenoso, teores de Zn na ordem de 34,49 a 359,67 mg/kg e de Cu que variaram de 0,84 a 8,83 mg/kg. Nota-se que as plantas de milho cultivadas nos três solos em estudos tiveram teores dentro dos limites relacionados pela literatura (Quadro 16).

Houve uma tendência das plantas de milho cultivadas no LVA2 e LVA3, solos mais argilosos (Quadro 2) possuírem os menores teores dos quatro micronutrientes em suas partes aéreas (Quadro 16). Sendo que, as plantas cultivadas no LVA3 foram as que apresentaram os menores teores de todos os quatro micronutrientes catiônicos em suas partes aéreas (Quadro 16). A disponibilidade de Fe, Mn, Zn e de Cu foi menor no LVA3, devido aos seguintes fatores: altos teores de argila e de MO (Quadros 2 e 3) e maior pH (Quadro 5).

Os maiores teores dos quatro micronutrientes foram encontrados nas plantas cultivadas no LVA1 (Quadro 16). Pelo baixo teor de argila presente o LVA1, o dreno-planta foi mais beneficiado que o dreno-solo. Assim, as plantas cultivadas no LVA1 acessaram facilmente os micronutrientes na solução do solo.

Quadro 16. Teores totais de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*ttFe_PA*, *ttMn_PA*, *ttZn_PA* e *ttCu_PA*) em função das doses destes quatro micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>ttFe_PA</i>	<i>ttMn_PA</i>	<i>ttZn_PA</i>	<i>ttCu_PA</i>	
	-----mg/dm ³ -----				-----mg/kg-----				
LVA1	0,0	30,0	10,0	4,0	47,93	114,79	26,90	4,41	
	20,0	30,0	10,0	4,0	44,71	158,67	26,27	4,59	
	40,0	30,0	10,0	4,0	56,72	162,08	31,54	5,25	
	80,0	30,0	10,0	4,0	109,27	229,53	40,06	5,97	
	120,0	30,0	10,0	4,0	151,11	328,15	51,79	7,57	
	200,0	30,0	10,0	4,0	191,04	351,52	55,87	6,52	
		Média				100,13	224,12	38,74	5,72
	40,0	0,0	10,0	4,0	57,59	52,85	30,27	5,26	
	40,0	15,0	10,0	4,0	51,65	111,57	28,18	4,90	
	40,0	30,0	10,0	4,0	50,49	175,05	28,34	4,66	
	40,0	60,0	10,0	4,0	53,89	319,12	28,90	5,39	
	40,0	90,0	10,0	4,0	47,64	445,55	29,05	5,29	
	40,0	150,0	10,0	4,0	55,06	1 096,86	33,81	5,64	
		Média				52,72	366,9	29,76	5,19
	40,0	30,0	0,0	4,0	115,96	230,81	9,46	12,30	
	40,0	30,0	5,0	4,0	54,63	167,53	19,37	5,29	
	40,0	30,0	10,0	4,0	47,31	159,07	27,37	4,56	
	40,0	30,0	20,0	4,0	45,67	138,71	40,04	4,89	
	40,0	30,0	30,0	4,0	40,61	179,94	62,81	5,16	
	40,0	30,0	50,0	4,0	40,49	158,80	87,02	4,74	
	Média				57,45	172,48	41,01	6,16	
40,0	30,0	10,0	0,0	53,80	163,52	30,61	0,97		
40,0	30,0	10,0	2,0	58,75	161,25	30,26	4,50		
40,0	30,0	10,0	4,0	50,20	170,79	28,66	5,35		
40,0	30,0	10,0	8,0	43,06	186,59	31,29	5,82		
40,0	30,0	10,0	12,0	49,65	155,11	28,21	6,45		
40,0	30,0	10,0	20,0	49,01	220,13	36,17	8,97		
	Média				50,75	176,23	30,87	5,34	

Continua...

Quadro 16 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>t</i> Fe_PA	<i>t</i> Mn_PA	<i>t</i> Zn_PA	<i>t</i> Cu_PA
	-----mg/dm ³ -----				-----mg/kg-----			
LVA2	0,0	30,0	10,0	4,0	35,46	194,02	20,37	3,16
	20,0	30,0	10,0	4,0	36,51	209,28	20,72	3,70
	40,0	30,0	10,0	4,0	42,94	266,59	20,39	4,52
	80,0	30,0	10,0	4,0	38,61	267,06	19,89	3,55
	120,0	30,0	10,0	4,0	45,67	334,42	23,86	4,13
	200,0	30,0	10,0	4,0	79,74	391,11	27,96	4,55
	Média				46,49	277,08	22,20	3,94
	40,0	0,0	10,0	4,0	51,88	65,31	23,04	4,29
	40,0	15,0	10,0	4,0	40,12	153,78	21,79	4,26
	40,0	30,0	10,0	4,0	36,74	238,80	20,99	4,02
	40,0	60,0	10,0	4,0	51,90	461,50	24,06	4,38
	40,0	90,0	10,0	4,0	54,98	611,40	22,87	4,56
	40,0	150,0	10,0	4,0	34,01	986,45	23,20	4,17
	Média				44,94	419,54	22,66	4,28
	40,0	30,0	0,0	4,0	40,56	237,23	4,72	4,81
	40,0	30,0	5,0	4,0	41,83	263,03	10,89	4,36
	40,0	30,0	10,0	4,0	43,81	255,01	26,52	4,67
	40,0	30,0	20,0	4,0	43,05	245,41	34,55	4,58
	40,0	30,0	30,0	4,0	41,33	254,80	46,26	4,40
	40,0	30,0	50,0	4,0	45,47	240,53	68,73	4,73
	Média				42,68	249,34	31,95	4,59
	40,0	30,0	10,0	0,0	37,26	248,26	21,41	3,13
	40,0	30,0	10,0	2,0	43,68	246,17	19,33	3,56
	40,0	30,0	10,0	4,0	43,69	268,47	20,79	4,71
	40,0	30,0	10,0	8,0	39,02	223,54	20,04	5,38
	40,0	30,0	10,0	12,0	34,66	216,60	22,51	4,79
	40,0	30,0	10,0	20,0	42,75	227,70	23,07	5,42
	Média				40,18	238,46	21,19	4,50

Continua...

Quadro 16 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>t</i> Fe_PA	<i>t</i> Mn_PA	<i>t</i> Zn_PA	<i>t</i> Cu_PA
-----mg/dm ³ -----				-----mg/kg-----				
LVA3	0,0	30,0	10,0	4,0	45,97	142,12	21,89	4,11
	20,0	30,0	10,0	4,0	44,19	169,62	15,29	3,88
	40,0	30,0	10,0	4,0	42,88	169,43	14,09	3,87
	80,0	30,0	10,0	4,0	45,27	245,02	28,83	4,33
	120,0	30,0	10,0	4,0	44,97	157,17	15,42	4,12
	200,0	30,0	10,0	4,0	57,35	202,05	19,69	4,22
	Média				46,77	180,90	19,20	4,09
	40,0	0,0	10,0	4,0	53,39	36,42	24,16	4,91
	40,0	15,0	10,0	4,0	51,56	130,04	17,84	4,33
	40,0	30,0	10,0	4,0	42,35	185,27	16,19	3,47
	40,0	60,0	10,0	4,0	39,74	263,22	15,09	3,79
40,0	90,0	10,0	4,0	53,51	387,64	15,95	4,31	
40,0	150,0	10,0	4,0	47,34	569,68	13,08	4,02	
Média				47,98	262,05	17,05	4,14	
40,0	30,0	0,0	4,0	209,98	244,58	7,89	16,55	
40,0	30,0	5,0	4,0	45,57	163,72	12,49	4,07	
40,0	30,0	10,0	4,0	43,47	185,93	16,41	4,00	
40,0	30,0	20,0	4,0	47,48	180,72	25,03	4,34	
40,0	30,0	30,0	4,0	40,79	173,26	25,77	4,31	
40,0	30,0	50,0	4,0	41,08	181,92	38,49	4,03	
Média				71,40	188,36	21,01	6,22	
40,0	30,0	10,0	0,0	43,07	167,48	15,92	2,39	
40,0	30,0	10,0	2,0	36,41	154,21	12,93	3,25	
40,0	30,0	10,0	4,0	40,45	169,72	15,87	4,25	
40,0	30,0	10,0	8,0	41,09	159,20	13,71	4,51	
40,0	30,0	10,0	12,0	40,81	158,80	17,04	4,88	
40,0	30,0	10,0	20,0	51,42	190,17	17,27	7,20	
Média				42,21	166,60	15,46	4,41	

As regressões linear, raiz quadrática e quadrática foram as que melhor explicaram os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu na planta em função das doses desses micronutrientes aplicadas em cada solo (Quadro 17).

As plantas cultivadas no LVA3 apresentaram os maiores teores de Fe com a aplicação das doses desse micronutriente (Quadro 17). Porém, com o aumento da dose de Fe diminui-se os teores desse na parte aérea das plantas cultivadas no LVA3. Fato semelhante aconteceu com o LVA2. Os teores de Fe na planta aumentaram novamente a partir da aplicação da dose de 40 mg/dm³. A baixa disponibilidade inicial de Fe no LVA2 e LVA3 para as plantas é decorrência dos altos teores de argila encontrados nesses dois solos (Quadro 2) bem como pelos valores de pH (Quadro 5).

Na ausência de aplicação de Mn e de Zn, os maiores teores desses micronutrientes foram encontrados nas plantas cultivadas no LVA1 (Quadro 17).

O LVA1 possui os menores teores de argila, e assim, a adsorção de Mn e de Zn nesse solo é menor quando comparada com a dos outros dois solos. Desse modo a disponibilidade de Mn e de Zn para as plantas de milho é maior.

Os níveis críticos de Fe variaram de 38,20 a 44,01 mg/kg. Os de Mn de 148,41 a 241,48 mg/kg. Os de Zn de 9,06 a 19,55 mg/kg e os de Cu 1,27 a 3,26 mg/kg (Quadro 17). Leite et al. (2003) determinaram os níveis críticos foliares de Mn, Zn e de Cu em plantas de milho cultivadas em um solo arenoso, os valores encontrados foram 27,20 mg/kg de Mn, 34,07 mg/kg de Zn e 1,14 mg/kg de Cu. Em mudas de café, Reynaga (2017) encontrou os seguintes valores de níveis críticos 203,94; 713,17; 7,76 e 9,59 mg/kg para o Fe, Mn, Zn e Cu respectivamente.

Os níveis críticos foliares dos quatro micronutrientes obtidos nas plantas de milho quando as doses de Fe, Mn, Zn e Cu foram aplicadas em conjunto concomitantemente (Quadro 18, do capítulo 1), foram superiores aos obtidos quando as doses de um dos micronutrientes eram variáveis e as dos demais mantidas constantes (Quadro 17, do capítulo 2).

Quadro 17. Equações dos teores totais de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*ttFe_PA*, *ttMn_PA*, *ttZn_PA* e *ttCu_PA*) (\hat{y} , mg/kg) em função das doses destes micronutrientes (*x*, mg/dm³) aplicadas em três solos e níveis críticos foliares de Fe, Mn, Zn e Cu (*ncFe_Fl*, *ncMn_Fl*, *ncZn_Fl* e *ncCu_Fl*) (mg/kg)

Solo	Equação	R ²	
	<i>ttFe_PA</i>		<i>ncFe_Fl</i> mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 38,35 + 0,806^{***} x$	0,959	38,35
LVA2	$\hat{y} = 38,20 - 0,096^{ns} x + 0,0015^{*} x^2$	0,961	38,20
LVA3	$\hat{y} = 45,74 - 0,081^{*} x + 0,0007^{*} x^2$	0,970	44,01
	<i>ttMn_PA</i>		<i>ncMn_Fl</i> mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 75,65 + 1,474^{**} x + 0,0351^{*} x^2$	0,994	241,48
LVA2	$\hat{y} = 65,30 + 6,161^{***} x$	0,998	148,41
LVA3	$\hat{y} = 64,40 + 3,437^{***} x$	0,991	160,60
	<i>ttZn_PA</i>		<i>ncZn_Fl</i> mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 11,05 + 1,563^{***} x$	0,991	19,55
LVA2	$\hat{y} = 7,87 + 1,256^{***} x$	0,977	9,06
LVA3	$\hat{y} = 9,78 + 0,586^{***} x$	0,968	18,71
	<i>ttCu_PA</i>		<i>ncCu_Fl</i> mg/kg
LVA1	$\hat{y} = 1,27 + 2,003^{*} x^{0,5} - 0,0859^{ns} x$	0,957	1,27
LVA2	$\hat{y} = 3,26 + 0,292^{*} x - 0,0095^{*} x^2$	0,824	3,26
LVA3	$\hat{y} = 2,77 + 0,215^{**} x$	0,943	2,77

^{ns}, *, ** e ***. Não significativo, significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu nas plantas de milho cultivadas nos três solos, foram estimados a partir da multiplicação da produção de matéria seca com os teores destes quatro micronutrientes encontrados na parte aérea das plantas de milho (Quadro 18).

Os altos teores de argila e de MO (Quadros 2 e 3), limitaram o acúmulo dos quatros micronutrientes nas plantas de milho cultivadas no LVA3 (Quadro 17). Além disso, o maior pH desse solo limitou a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas cultivadas no LVA3.

Os maiores conteúdos de Fe e de Zn foram obtidos pelas plantas de milho cultivadas no LVA1, e os de Mn e Cu pelas plantas cultivadas no LVA2 (Quadro 18).

Quadro 18. Conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*cFe_PA*, *cMn_PA*, *cZn_PA* e *cCu_PA*) (mg/vaso) em função das doses destes quatro micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	<i>cFe_PA</i>	<i>cMn_PA</i>	<i>cZn_PA</i>	<i>cCu_PA</i>
-----mg/dm ³ -----				-----mg/vaso-----				
LVA1	0,0	30,0	10,0	4,0	1,27	3,04	0,71	0,12
	20,0	30,0	10,0	4,0	1,25	4,42	0,73	0,13
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,48	4,21	0,83	0,14
	80,0	30,0	10,0	4,0	2,38	5,10	0,88	0,13
	120,0	30,0	10,0	4,0	3,01	6,49	1,03	0,15
	200,0	30,0	10,0	4,0	3,59	6,59	1,06	0,12
	Média				2,16	4,98	0,87	0,13
	40,0	0,0	10,0	4,0	1,31	1,20	0,68	0,12
	40,0	15,0	10,0	4,0	1,28	2,73	0,69	0,12
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,34	4,64	0,75	0,12
	40,0	60,0	10,0	4,0	1,54	9,16	0,83	0,15
	40,0	90,0	10,0	4,0	1,37	12,79	0,84	0,15
	40,0	150,0	10,0	4,0	1,48	29,93	0,91	0,15
	Média				1,39	10,08	0,78	0,14
	40,0	30,0	0,0	4,0	2,76	5,47	0,22	0,29
	40,0	30,0	5,0	4,0	1,42	4,34	0,50	0,14
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,27	4,30	0,74	0,12
	40,0	30,0	20,0	4,0	1,25	3,80	1,10	0,13
	40,0	30,0	30,0	4,0	1,11	4,93	1,72	0,14
40,0	30,0	50,0	4,0	1,10	4,31	2,36	0,13	
Média				1,49	4,53	1,11	0,16	
40,0	30,0	10,0	0,0	1,69	5,05	0,95	0,03	
40,0	30,0	10,0	2,0	1,53	4,18	0,79	0,12	
40,0	30,0	10,0	4,0	1,29	4,39	0,74	0,14	
40,0	30,0	10,0	8,0	1,07	4,68	0,78	0,15	
40,0	30,0	10,0	12,0	1,28	3,96	0,72	0,17	
40,0	30,0	10,0	20,0	1,31	5,82	0,97	0,24	
Média				1,36	4,68	0,83	0,14	

Continua...

Quadro 18 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	cFe_PA	cMn_PA	cZn_PA	cCu_PA	
-----mg/dm ³ -----				-----mg/vaso-----					
LVA2	0,0	30,0	10,0	4,0	1,38	7,61	0,80	0,12	
	20,0	30,0	10,0	4,0	1,32	7,69	0,75	0,13	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,63	10,01	0,73	0,17	
	80,0	30,0	10,0	4,0	1,46	10,08	0,75	0,13	
	120,0	30,0	10,0	4,0	1,72	12,55	0,89	0,15	
	200,0	30,0	10,0	4,0	2,18	10,67	0,77	0,13	
	Média					1,62	9,77	0,78	0,14
	40,0	0,0	10,0	4,0	1,61	2,03	0,72	0,13	
	40,0	15,0	10,0	4,0	1,42	5,44	0,77	0,15	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,33	8,64	0,76	0,15	
	40,0	60,0	10,0	4,0	1,93	17,14	0,89	0,16	
	40,0	90,0	10,0	4,0	2,08	23,17	0,87	0,17	
	40,0	150,0	10,0	4,0	1,20	34,74	0,82	0,15	
	Média					1,60	15,19	0,81	0,15
	40,0	30,0	0,0	4,0	1,34	7,91	0,16	0,16	
	40,0	30,0	5,0	4,0	1,48	9,30	0,39	0,15	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,76	10,25	1,06	0,19	
	40,0	30,0	20,0	4,0	1,62	9,16	1,28	0,17	
	40,0	30,0	30,0	4,0	1,45	8,92	1,61	0,15	
40,0	30,0	50,0	4,0	1,40	7,39	2,12	0,15		
Média					1,51	8,82	1,10	0,16	
40,0	30,0	10,0	0,0	1,39	9,17	0,80	0,12		
40,0	30,0	10,0	2,0	1,70	9,66	0,75	0,14		
40,0	30,0	10,0	4,0	1,72	10,60	0,82	0,19		
40,0	30,0	10,0	8,0	1,55	8,80	0,79	0,22		
40,0	30,0	10,0	12,0	1,40	8,74	0,91	0,19		
40,0	30,0	10,0	20,0	1,73	9,30	0,92	0,22		
Média					1,58	9,38	0,83	0,18	

Continua...

Quadro 18 continua...

Solo	Fe	Mn	Zn	Cu	cFe_PA	cMn_PA	cZn_PA	cCu_PA	
	-----mg/dm ³ -----				-----mg/vaso-----				
LVA3	0,0	30,0	10,0	4,0	1,18	3,66	0,53	0,10	
	20,0	30,0	10,0	4,0	1,19	4,56	0,41	0,10	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,29	5,10	0,41	0,11	
	80,0	30,0	10,0	4,0	1,25	6,57	0,75	0,12	
	120,0	30,0	10,0	4,0	1,40	5,10	0,48	0,13	
	200,0	30,0	10,0	4,0	1,70	6,20	0,60	0,13	
		Média				1,34	5,20	0,53	0,12
	40,0	0,0	10,0	4,0	1,50	1,01	0,65	0,13	
	40,0	15,0	10,0	4,0	1,48	3,73	0,51	0,13	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,25	5,49	0,48	0,10	
	40,0	60,0	10,0	4,0	1,28	8,51	0,49	0,12	
	40,0	90,0	10,0	4,0	1,60	11,56	0,48	0,13	
	40,0	150,0	10,0	4,0	1,41	16,97	0,39	0,12	
		Média				1,42	7,88	0,50	0,12
	40,0	30,0	0,0	4,0	2,31	2,86	0,09	0,19	
	40,0	30,0	5,0	4,0	1,25	4,49	0,34	0,11	
	40,0	30,0	10,0	4,0	1,26	5,38	0,47	0,12	
40,0	30,0	20,0	4,0	1,34	5,10	0,71	0,12		
40,0	30,0	30,0	4,0	1,35	5,67	0,83	0,14		
40,0	30,0	50,0	4,0	1,27	5,62	1,18	0,13		
	Média				1,46	4,85	0,60	0,14	
40,0	30,0	10,0	0,0	1,15	4,51	0,43	0,06		
40,0	30,0	10,0	2,0	1,02	4,29	0,36	0,09		
40,0	30,0	10,0	4,0	1,13	4,76	0,45	0,12		
40,0	30,0	10,0	8,0	1,16	4,49	0,39	0,13		
40,0	30,0	10,0	12,0	1,27	4,92	0,53	0,15		
40,0	30,0	10,0	20,0	1,61	5,88	0,54	0,23		
	Média				1,22	4,81	0,45	0,13	

Foram ajustadas equações de regressão do conteúdo de Fe, Mn, Zn e de Cu na parte aérea das plantas de milho em função das doses destes quatro micronutrientes nos três solos em estudo (Quadro 19). Os modelos linear e quadrático foram os que melhor se ajustaram aos dados.

Não foi possível calcular a taxa de recuperação de Cu pelas plantas para nenhum solo, e a taxa de recuperação de Fe para os solos LVA1 e LVA2 (Quadro 19). As maiores taxas de recuperação de Mn e de Zn pelas plantas de milho ocorreram no LVA2 (Quadro 19). Isto se deve ao fato de o LVA2 apresentar altos teores de Mn e de Zn (Quadro 3) e um pH baixo, o que favorece a disponibilidade de Mn e de Zn para as plantas de milho.

As taxas de recuperação de Mn pelas plantas de milho oscilaram entre 0,1108 a 0,2348, as de Zn ficaram entre 0,0319 a 0,0540 (Quadro 19). Reynaga

(2017), encontrou as seguintes taxas de recuperação de micronutrientes em folhas de café: 0,989, 0,028 respectivamente para Mn, Zn e Cu. Possivelmente estes valores de taxa de recuperação dos micronutrientes foram baixo devido ao pequeno tamanho do sistema radicular, quando comparado a plantas cultivadas no campo, onde o sistema radicular é muito mais desenvolvido, desde modo serão maiores as taxas de recuperação dos micronutrientes pela planta.

Quadro 19. Equações dos conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (cFe_PA , cMn_PA , cZn_PA e cCu_PA) (\hat{y} , mg/vaso) em função das doses (x , mg/dm³) destes quatro micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Equação	R ²	
	cFe_PA		$trFe_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 1,17 + 0,013^{***}x$	0,954	-
LVA2	$\hat{y} = 1,31 + 0,004^{**}x$	0,852	-
LVA3	$\hat{y} = 1,14 + 0,003^{***}x$	0,910	0,0025
	cMn_PA		$trMn_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 1,61 + 0,062^*x + 0,0008^*x^2$	0,996	0,1108
LVA2	$\hat{y} = 1,65 + 0,267^{***}x - 0,0003^*x^2$	0,999	0,2348
LVA3	$\hat{y} = 1,42 + 0,132^{**}x - 0,0002^*x^2$	0,997	0,1411
	cZn_PA		$trZn_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 0,28 + 0,043^{***}x$	0,989	0,0540
LVA2	$\hat{y} = 0,19 + 0,069^{**}x - 0,0006^*x^2$	0,968	0,1002
LVA3	$\hat{y} = 0,15 + 0,031^{**}x - 0,0002^*x^2$	0,986	0,0319
	cCu_PA		$trCu_Pl$
LVA1	$\hat{y} = 0,08 + 0,009^{**}x$	0,847	-
LVA2	$\hat{y} = 0,12 + 0,013^{ns}x - 0,0004^*x^2$	0,849	-
LVA3	$\hat{y} = 0,07 + 0,008^{***}x$	0,966	-

^{ns}, *, ** e ***. Não significativo, significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

3.4 Coeficientes de correlação linear simples entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu e os teores destes quatro micronutrientes pelos três extratores

Não houve correlação entre o conteúdo de Fe na parte aérea das plantas de milho com os teores de Fe recuperados com os extratores M1 e M3. O coeficiente de correlação entre os teores de Fe recuperados com o DTPA e o conteúdo desse micronutriente foi elevado e altamente significativo (Quadro 20). Indicando que o M1 e o M3 não foram eficientes para prever a disponibilidade de Fe para as plantas de milho que foram cultivadas nos três solos. Nos trabalhos realizados por

Mielki et al. (2016) e Abreu et al. (2004) tanto o M1 quanto o M3 não foram eficientes para predizer a disponibilidade de Fe para o milho e a soja.

O M1 e o M3 foram mais eficientes na avaliação da disponibilidade de Cu para as plantas de milho do que o DTPA.

Para o Mn e o Zn os três extratores apresentam semelhança na avaliação da disponibilidade desses dois micronutrientes para as plantas de milho.

Os teores Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelo M3 se correlacionaram melhor com os teores obtidos com o M1. Isso se deve porque o M1 e o M3 possuem pH menores no momento da extração em relação ao DTPA, assim, o M1 e o M3 possuem maior poder de extração.

Quadro 20. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*cFe_PA*, *cMn_PA*, *cZn_PA* e *cCu_PA*) com as médias das seis doses dos micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

	<i>cFe_PA</i>	R ²
M1	0,350 ^{ns}	0,123
M3	0,265 ^{ns}	0,070
DTPA	0,900***	0,810
<hr/>		
	<i>cMn_PA</i>	
M1	0,880***	0,774
M3	0,814***	0,663
DTPA	0,737***	0,543
<hr/>		
	<i>cZn_PA</i>	
M1	0,893***	0,797
M3	0,928***	0,861
DTPA	0,899***	0,808
<hr/>		
	<i>cCu_PA</i>	
M1	0,866***	0,750
M3	0,817***	0,667
DTPA	0,615**	0,378

ns, **, e ***. Não significativo. Significativo a 1 e 0,1 % respectivamente.

Quadro 21. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores disponíveis de ferro, manganês , zinco e cobre extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA para três solos

Fe		
	M3	DTPA
M1	0,789***	0,266***
M3	-	0,170**
Mn		
	M3	DTPA
M1	0,956***	0,839***
M3	-	0,804***
Zn		
	M3	DTPA
M1	0,958***	0,861***
M3	-	0,931***
Cu		
	M3	DTPA
M1	0,960***	0,813***
M3	-	0,896***

***. Significativo 0,1 %.

4. CONCLUSÃO

A capacidade de extração dos micronutrientes catiônicos seguiu a seguinte ordem: M1 > M3 > DTPA.

Os maiores níveis críticos dos quatro micronutrientes ocorreram para o extrator M1 bem como as maiores taxas de recuperação. E os menores níveis críticos dos quatros micronutrientes e as menores taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e de Cu ocorreram para o DTPA.

O DTPA foi mais eficiente do que o M1 e o M3 em predizer a disponibilidade de Fe para as plantas de milho.

O M1 e o M3 foram mais eficientes do que o DTPA em predizer a disponibilidade de Cu para as plantas de milho.

O M1, M3 e o DTPA foram eficientes em predizer a disponibilidade de Mn e de Zn para as plantas de milho.

Os teores Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelo M3 se correlacionaram melhor com os teores obtidos com o M1.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A., RAIJ, B.V.; ABREU, M.F. PAZ GONZALEZ, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. R. Bras. Ci. Solo. 2004; 28:579-584.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 2000, 25:27-32.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análises de solo. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F., editores. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.615-646.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIEBIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, 1999. p.43-60.
- ASPIAZÚ, I. Extração de Ferro e Manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais e da Bahia. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba. POTAFOS/CNPq, 1991. p.65-78.
- DECHEN, A.R. e NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S, editor. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006; p.328-354.
- LEITE, U.B.; AQUINO, B.F.; ROCHA, R.N.C. SILVA, J. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. R. Biosci. J. 2003; 19: 115-125.
- LINDSAY, W.L., NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America, 1978, 42:421-428.
- MALLARINO, A.P. Field calibration for corn of the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively-coupled plasma emission spectroscopy determination methods. Soil Science Society of America Journal. 2003, 67:1928-1934.
- MENEZES, A. A., DIAS, L. E., NEVES, J. C. L., & Silva, J. V. O. Disponibilidade de zinco para milho pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais, na presença e ausência de calagem. R. Bras. Ci. Solo. 2010; 34: 417–424.
- MIELKI, G.F., NOVAIS, R.F., KER, J.C., VERGÜTZ, L. & CASTRO, G.F. Iron Availability in Tropical Soils and Iron Uptake by Plants. R. Bras. Ci. Solo. 2016; 40: 150–174.

NASCIMENTO, C.W.A.. Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2001

NOVAIS, R.F, NEVES, J.C.L, BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J, GARRIDO, W.E, ARAÚJO, J.D, LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SEA; 1991; p. 189-254.

OLIVEIRA JUNIOR, A. Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro para a cultura da soja na região de Balsas, MA. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.

PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; ANJOS, L. H. C. Comparação de métodos de extração de cobre, zinco, ferro e manganês em solos do estado do Rio de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo. 2001; 25: 655-660.

PICKERING, W.F. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. 1981. Crit. Rev. Chem., 12: 233-266.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. Instituto Agrônomico de Campinas -IAC.Campinas. 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B.V., BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na Agricultura. 1991. Piracicaba: PATAFOS/CNPQ.

REYNAGA, W.H.M. Método Requerimento-Suprimento para determinação de dose e composição do fertilizante multinutriente para crescimento inicial do cafeeiro. [Dissertação]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2017, 44p.

RUIZ, H.A, FERREIRA, G.B. PEREIRA J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. R. Bras. Ci. Solo. 2003;27:389-93.

RODRIGUES, F.A.V.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Disponibilidade de zinco para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 2009; 36:1249-1257.

RODRIGUES, F.A.V. Disponibilidade de cobre e zinco para mudas de eucalipto em solos de cerrado. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.

RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. R. Pesq. Agropec. Bras. 2001; 36:143-149.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; NODA, A.Y.; MARCHETTI, M.E.; DA MATA, J.D.V.; LOURENTE, E.R.P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. R. Acta Scient. 2009; 31:537-545.

SANTOS NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e Minas Gerais. [Dissertação]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003, 51p.

CAPÍTULO 3

DISPONIBILIDADE DE FERRO, MANAGNÊS, ZINCO E DE COBRE DE 12 SOLOS CULTIVADOS COM MILHO, QUANDO AS DOSES DOS MICRONUTRIENTES FORAM APLICADAS CONCOMITANTEMENTE

RESUMO

Para a escolha do extrator que irá estimar a disponibilidade dos nutrientes no solo são realizados estudos de correlação e de calibração. Nos primeiros estudos são testados diferentes extratores, sendo selecionados aqueles que melhor se aproximam do método padrão, que é a quantidade absorvida e acumulada pelas plantas. Posteriormente são definidas as doses recomendáveis a serem adicionadas ao solo e os níveis críticos. Este trabalho teve os seguintes objetivos: comparar a capacidade preditiva do Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA quanto à disponibilidade de micronutrientes catiônicos, em 12 solos; determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação de micronutrientes catiônicos pelas plantas e pelos extratores em cada solo. Para isso foi instalado um experimento em casa de vegetação com o seguinte fatorial 12×6 , correspondendo a 12 solos e seis doses dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu que foram aplicadas concomitantemente em conjunto nos 12 solos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Foram utilizadas as seguintes doses de Fe (0,0; 8,0; 16,0; 32,0; 48 e 80 mg/dm³); Mn (0,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30 e 50 mg/dm³); Zn (0,0; 2,0; 4,0; 8,0; 12 e 20 mg/dm³) e de Cu (0,0; 1,5; 3,0; 6,0; 9,0 e 15 mg/dm³). As fontes de cada micronutriente foram as seguintes: FeCl₃.6H₂O, MnCl₂.4H₂O, Zn(NO₃)₂.6H₂O e Cu(NO₃)₂.3H₂O. As unidades experimentais foram vasos plásticos contendo 2,0 dm³ de solo com quatro plantas de milho. O experimento foi colhido com 33 d após a germinação das plantas. Os teores disponíveis de Fe, Mn, Zn e de Cu foram determinados pelos extratores M1, M3 e DTPA. Os níveis críticos de Fe nos 12 solos para o desenvolvimento das plantas de milho foram 109,97 mg/dm³, 136,44 mg/dm³ e 23,46 mg/dm³ pelos extratores M1, M3 e DTPA. Já os níveis críticos de Mn foram 70,04 mg/dm³, 78,50 mg/dm³ e 18,71 mg/dm³ pelo M1, M3 e DTPA. Os de Zn foram 5,55 mg/dm³, 4,29 mg/dm³ e 2,76 mg/dm³ pelos mesmos três extratores. Para o Cu o M1 apresentou um nível crítico de 4,04 mg/dm³, o M3 de 3,54 mg/dm³ e o DTPA

de 1,96 mg/dm³. As menores taxas de recuperação dos quatro micronutrientes ocorreram no extrator DTPA e as maiores no M3 para o Fe e Mn e no M1 para o Zn e o Cu. Os teores dos quatro micronutrientes recuperados pelos extratores M3 e DTPA são altamente correlacionados entre si. Ocorreu correlação negativa entre os teores de Fe recuperados pelo extrator M1 com o conteúdo desse micronutriente na planta de milho. O M3 apresentou as melhores correlações entre os teores de Mn e de Cu extraídos por ele com o conteúdo desses dois micronutrientes encontrados nas plantas de milho. Os teores de Fe extraídos pelo DTPA foram os que obtiveram a melhor correlação com o conteúdo desse micronutriente nas plantas de milho. E os teores de Zn recuperados pelo M1 foram os que apresentaram a melhor correlação com o conteúdo de Zn nas plantas de milho. O M3 apresenta potencial para ser utilizado em análises de rotina de micronutrientes, uma vez que indicou boa correlação entre os conteúdos dos micronutrientes com os teores recuperados por ele. Entretanto, existe a necessidade de mais estudos com relação ao Fe, uma vez que, a correlação entre o conteúdo desse micronutriente com os teores recuperados pelo M3 foram baixas.

1. INTRODUÇÃO

Para obter elevadas produtividades o agricultor deve entre outras práticas fazer o uso, em muitos solos do Brasil, de corretivos e de fertilizantes, já que em sua grande maioria esses solos apresentam elevada acidez e baixa fertilidade natural, o que diminui a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Geralmente os micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu são requeridos em quantidades bem pequenas se comparado com os macronutrientes, P e K, o que pode as vezes gerar problemas de deficiência ou de toxicidade, quando aplicados de forma sem conhecer a disponibilidade dos mesmos. Um bom extrator para ser utilizado em análise de micronutrientes no solo, deve apresentar entre outras características ser simples, de baixo custo e principalmente apresentar correlação positiva entre os teores recuperados por este método com a quantidade de nutrientes determinadas na planta (Lopes & Abreu, 2000).

Nos estudos de correlação de extratores de micronutrientes para as plantas é importante obter extratores químicos que consigam retirar as formas de micronutrientes que as plantas conseguem acessar, para poder assim, prever a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas.

As soluções ácidas e complexantes são os principais extratores químicos para determinar os teores de Fe, Mn, Zn e Cu disponíveis do solo. Sendo os primeiros se baseiam principalmente na redução do pH solubilizando alguns compostos do solo que contém os micronutrientes. Já os extratores que possuem como mecanismo de extração a complexação possuem a capacidade de reduzir a atividade dos íons dissolvidos, resultando na liberação dos micronutrientes mais solúveis (Motta et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi comparar a capacidade preditiva do DTPA, Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) quanto à disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Cu em 12 solos; determinar os níveis críticos e as taxas de recuperação destes quatro micronutrientes pelas plantas e pelos extratores em cada solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzindo em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFV. Utilizou-se nesta pesquisa 12 solos (Quadro 1), suas amostras foram coletadas, secas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras com malha de 4 mm. Depois subamostras (TFSA) foram submetidas à caracterização física (Quadro 2) e química (Quadro 3).

Quadro 1. Classificação e procedência dos 12 solos utilizados

Solo	Classificação	Procedência
Cambissolo Háptico	CX1	Paula Cândido-MG
Cambissolo Háptico	CX2	Viçosa-MG
Latossolo Amarelo	LA1	Linhares-ES
Latossolo Amarelo	LA2	Rio Paranaíba-MG
Latossolo Vermelho amarelo	LVA1	Três Marias-MG
Latossolo Vermelho amarelo	LVA2	Viçosa-MG
Latossolo Vermelho amarelo	LVA3	Viçosa-MG
Latossolo Vermelho amarelo	LVA4	Viçosa-MG
Latossolo húmico	Lh	Araponga-MG
Nitossolo Vermelho	NV	São Geraldo-MG
Argissolo Vermelho amarelo	PVA1	Viçosa-MG
Argissolo Vermelho amarelo	PVA2	São Geraldo-MG

Quadro 2. Características físicas dos 12 solos utilizados na pesquisa

Solo	DS ^{1/}	EU ^{2/}	Areia grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classificação textural ^{3/}
	kg/dm ³	kg/kg%				
CX1	0,99	0,35	8,8	6,2	16,9	68,1	Muito Argilosa
CX2	1,01	0,35	10,1	9,4	4,3	76,2	Muito Argilosa
LA1	1,32	0,08	58,5	15,2	5,5	20,8	Franco-Argilo-Arenosa
LA2	1,24	0,09	16,6	62,0	5,8	15,6	Franco-Arenosa
LVA1	1,26	0,08	17,7	60,4	1,7	20,2	Franco-Argilo-Arenosa
LVA2	1,05	0,28	19,3	12,7	6,5	61,5	Muito Argilosa
LVA3	1,05	0,32	11,3	9,2	3,0	76,5	Muito Argilosa
LVA4	1,02	0,29	17,0	13,0	7,3	62,7	Muito Argilosa
Lh	0,98	0,32	30,9	9,2	9,7	50,2	Argila
NV	1,12	0,37	4,8	6,7	17,1	71,4	Muito Argilosa
PVA1	1,02	0,26	19,0	16,1	8,8	56,1	Argila
PVA2	1,08	0,33	18,0	13,1	6,9	62,0	Muito Argilosa

^{1/} Densidade do Solo. ^{2/} Equivalente de Umidade. ^{3/} Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Quadro 3. Características químicas dos 12 solos utilizados nesta pesquisa

Solo	⁽¹⁾ pH	⁽²⁾ P-rem	⁽³⁾ MO	⁽⁴⁾ Fe	⁽⁴⁾ Mn	⁽⁴⁾ Zn	⁽⁴⁾ Cu	⁽⁴⁾ P	⁽⁴⁾ K	⁽⁵⁾ Ca ²⁺	⁽⁵⁾ Mg ²⁺	⁽⁵⁾ Al ³⁺	⁽⁶⁾ H+Al	SB	t	T	V	m
		mg/L	g/kg	-----mg/dm ³ -----						-----cmolc/dm ³ -----				---%---				
CX1	4,37	16,2	35,8	107,52	23,15	1,47	3,08	4,2	58,0	0,91	0,37	1,3	6,6	1,43	2,73	8,03	17,8	47,6
CX2	4,90	7,8	10,2	43,29	0,45	0,14	0,39	0,4	5,0	0,07	0,02	0,3	2,3	0,10	0,40	2,40	4,3	74,5
LA1	5,96	47,5	12,8	68,03	7,23	6,18	0,84	11,1	112,0	3,40	1,16	0,0	1,7	4,84	4,84	6,54	74,0	0,0
LA2	6,22	31,9	19,2	183,01	4,87	2,15	0,77	8,2	20,0	2,60	0,38	0,0	3,3	3,06	3,06	6,36	48,1	0,0
LVA1	5,50	21,9	25,0	80,08	6,16	0,28	0,32	0,5	17,0	0,08	0,00	0,2	2,1	0,12	0,28	2,20	5,5	57,8
LVA2	4,81	13,1	17,7	98,61	6,57	1,19	1,92	0,9	7,0	0,65	0,02	0,7	4,1	0,69	1,39	4,79	14,0	50,4
LVA3	4,99	12,8	39,0	39,87	0,47	0,13	0,31	1,2	9,0	0,01	0,04	1,3	9,5	0,10	1,30	9,8	0,9	100,0
LVA4	4,87	14,7	15,4	51,92	175,00	0,32	2,15	0,8	10,0	0,57	0,18	0,5	3,3	0,78	1,28	4,08	19,0	39,2
Lh	5,15	7,9	127,9	45,53	13,59	4,05	0,30	3,2	21,0	2,02	0,80	1,3	16,5	2,87	4,17	19,37	14,8	31,1
NV	5,90	5,6	7,7	149,59	15,56	0,50	3,07	2,9	2,0	5,58	3,47	0,0	2,3	9,06	9,06	11,36	79,7	0,0
PVA1	5,85	14,7	16,6	78,13	172,85	1,24	6,23	1,8	50,0	1,45	0,31	0,0	2,5	1,89	1,89	4,39	43,0	0,0
PVA2	6,28	12,5	2,6	88,81	9,54	0,87	1,22	3,9	4,0	4,70	0,95	0,0	1,3	5,66	5,66	6,96	81,3	0,0

⁽¹⁾ pH em água, relação 1:2,5, ⁽²⁾ Alvarez V. et al., (2000), ⁽³⁾ Matéria Orgânica do Solo, Walkley-Black ⁽⁴⁾ Extrator Mehlich-1, relação 1:10, ⁽⁵⁾ Extrator KCl 1,0 mol/L, relação 1:10, ⁽⁶⁾ Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L, pH 7,0, relação 1:15.

Foi utilizado o esquema fatorial 12×6 , correspondendo a 12 solos e seis doses dos micronutrientes catiônicos Fe, Mn, Zn e Cu, que foram aplicadas concomitantemente em cada solo (Quadro 4).

Quadro 4. Níveis e doses de Fe, Mn, Zn e Cu que variaram concomitantemente em três solos do Estado de Minas Gerais

Nível	Dose			
	Fe	Mn	Zn	Cu
	-----mg/dm ³ -----			
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
0,25	8,0	5,0	2,0	1,5
0,50	16,0	10,0	4,0	3,0
1,00	32,0	20,0	8,0	6,0
1,50	48,0	30,0	12,0	9,0
2,50	80,0	50,0	20,0	15,0

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de vasos plásticos contendo 2,0 dm³ de solo, onde foram cultivadas quatro plantas de milho (*Zea mays* L.) por vaso.

Os solos foram corrigidos para neutralizar o Al³⁺ e elevar o valor de V. Para isso utilizou-se uma mistura corretiva (CaCO₃ e MgCO₃ na razão molar de Ca:Mg 4:1), que foi aplicada em 2,3 dm³ de cada solo em cada unidade experimental. Os solos ficaram incubados por 15 d na casa de vegetação com a umidade do solo mantida em 80 % da capacidade de campo, que foi estimada a partir do Equivalente de Umidade segundo Ruiz et al. (2003).

Decorridos 15 d após a aplicação do corretivo foram aplicadas as doses dos micronutrientes (Quadro 4) utilizando as fontes FeCl₃.6H₂O, MnCl₂.4H₂O, Zn(NO₃)₂.6H₂O e Cu(NO₃)₂.3H₂O e incubadas novamente por 7 d. Após este período foi realizada uma amostragem de cada solo (0,3 dm³) para a determinação dos quatro micronutrientes pelos extratores M1, M3 e DTPA. Nestas amostras foram determinadas também o pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺) e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (Quadro 5). O restante do solo, 2,0 dm³ foram colocados nos vasos para o cultivo de milho.

Quadro 5. Valores de pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺) e teores de cálcio e magnésio trocáveis nas amostras dos 12 solos após a incubação com o calcário

Solo	⁽¹⁾ pH	⁽²⁾ H+Al	⁽³⁾ Al ³⁺	⁽³⁾ Ca ²⁺	⁽³⁾ Mg ²⁺
		cmolc/dm ³		
CX1	5,19	4,47	0,14	4,62	1,24
CX2	6,01	1,19	0,06	1,52	0,28
LA1	6,13	1,05	0,07	3,71	1,13
LA2	5,97	1,78	0,06	2,83	0,43
LVA1	6,52	0,91	0,06	1,44	0,31
LVA2	5,65	2,40	0,07	1,88	0,31
LVA3	5,98	1,66	0,06	1,83	0,35
LVA4	5,61	3,37	0,08	4,41	1,14
Lh	5,35	15,79	0,42	5,51	1,48
NV	5,63	2,40	0,06	5,98	2,76
PVA1	6,04	2,28	0,06	1,69	0,36
PVA2	6,00	1,52	0,08	4,73	0,90

^{1/} pH em água, relação 1:2,5, ^{2/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L , pH 7,0, relação 1:15, ^{3/}Extrator KCl 1,0 mol/L, relação 1:10.

Sete sementes de milho híbrido foram semeadas em cada unidade experimental e, após desbastes, foram cultivadas quatro plantas.

No plantio aplicou-se em todo o volume do solo, doses de P e de S de acordo com o P remanescente, segundo Alvarez V. et al. (2000). Nas amostras dos solos CX1, LA2, LVA1, LVA2, LVA4, PVA1 e PVA2, foram aplicados 410 mg/dm³ de P e 105,0 mg/dm³ de S. Nas amostras dos solos CX2, LA1, LVA3, Lh e NV aplicou-se 560,0 mg/dm³ de P e 120,0 mg/dm³ de S. Também foi aplicada uma dose de 100 e 150 mg/dm³ de N e K respectivamente. Após o plantio, semanalmente, foi aplicado uma dose de 50 mg/dm³ de N realizando o rodízio dos vasos dentro de cada bloco. Aplicou-se 0,81 mg/dm³ de B e 0,15 mg/dm³ de Mo de acordo Novais et al. (1991). A fonte de B foi o H₃BO₃ e de Mo o NaMoO₄.2H₂O. A umidade dos solos nos vasos foi mantida próxima a 80 % da capacidade de campo por meio de irrigações diárias na parte superior dos vasos.

A parte aérea das plantas de milho foi colhida aos 33 d após a emergência. Elas foram secas em estufa de circulação de ar a 70 °C por 72 h. As plantas foram pesadas, trituradas em moinho tipo Wiley. Amostras foram mineralizadas por digestão nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados Fe, Mn, Zn e Cu, por espectrofotometria de absorção atômica.

As amostras de solo coletadas após a incubação com as doses dos micronutrientes catiônicos foram submetidas aos seguintes métodos de análise: M1, M3 e DPTA.

Na extração com o M1 (HCl 50 mmol/L + H₂SO₄ 12,5 mmol/L) e com o M3 (HOAc 0,2 mol/L, NH₄NO₃ 0,25 mol/L, NH₄F 15 mmol/L, HNO₃ 13 mmol/L e Na₂EDTA 1 mmol/L) foi utilizada a relação solo:solução 1:10 (5 cm³ de solo e 50 mL de extrator) com agitação durante 5 min e repouso por 16 h.

A extração com DTPA-TEA pH 7,3 (DTPA 5 mmol/L triaetanolamina (TEA) 0,1 mol/L e CaCl₂ 10 mmol/L) utilizou-se a relação solo:solução 1:2 (20 cm³ de solo com 40 mL de extrator), com agitação durante 2 h seguida de filtragem lenta em papel de filtro.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em seguida, foram ajustados modelos de regressão relacionando a produção de matéria seca em função dos níveis do fertilizante multimicronutriente. Ajustou-se também equações que relacionam os teores recuperados dos quatro micronutrientes pelos extratores em função das doses adicionadas. Para isso, utilizou-se o SISVAR 5.6. Escolheram-se os modelos que possuíam os coeficientes de regressão significativos até o nível de 25 % para se obter os modelos que melhor explicariam o fenômeno do ponto de vista agrônomo.

Para obter as doses dos micronutrientes que condicionam 95 % da produção máxima para cada solo, fez-se a primeira derivada das equações de produção de matéria seca em função dos níveis dos quatro micronutrientes igualando-a a zero, o valor encontrado foi o nível de micronutrientes necessário para atingir a produção máxima física, a produção de “máxima eficiência econômica” foi a correspondente a de 95 % da produção máxima física. Para obter os níveis críticos de Fe, Mn, Zn e Cu para cada solo, realizou-se a substituição dos valores das doses recomendáveis dos micronutrientes nas equações de Fe, Mn, Zn e Cu recuperados em função das doses de micronutrientes adicionadas. Para avaliar a capacidade preditiva dos extratores quanto a disponibilidade de micronutrientes no solo, foram feitas correlações lineares simples entre os teores de micronutrientes disponível pelos três extratores com o conteúdo na parte aérea das plantas de milho. A taxa de recuperação de cada micronutriente pela planta foi calculada da seguinte maneira, exemplo para o Fe:

$$trFe_{Pl} = (cFe_{DRFe} - cFe_{D0}) / drFe$$

onde:

$trFe_{Pl}$ = taxa de recuperação de Fe pela planta;

cFe_{DRFe} = conteúdo de Fe obtido pela dose recomendável de Fe;

cFe_{D0} = conteúdo de Fe obtido pela dose zero de Fe;

$drFe$ = dose recomendável de Fe.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resposta das plantas de milho à aplicação de micronutrientes

As plantas de milho cultivadas no CX1 responderam melhor à aplicação das doses dos quatro micronutrientes, pois esse apresentou a maior produção de matéria seca (Quadro 6). O CX1 possui os maiores teores disponíveis dos quatro micronutrientes (Quadro 3) e menor pH (Quadro 5), o que propiciou maior disponibilidade dos micronutrientes para as plantas.

A menor produção de matéria seca ocorreu nos solos CX2, LVA1 e LVA3 (Quadro 6). Esses três solos são os que contêm os menores teores dos quatro micronutrientes (Quadro 3) e os maiores valores de pH (Quadro 5). O pH elevado do CX2, LVA1 e LVA3 afetou a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas. Entre esses três solos, a disponibilidade dos micronutrientes foi menor no CX2 e LVA3, porque esses dois solos possuem altos teores de argila (Quadro 2). Assim a adsorção de micronutrientes é maior, o que diminui a disponibilidade.

Os altos teores de argila e de MO encontrados no Lh, propiciaram alta adsorção dos micronutrientes, diminuindo a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas de milho afetando a sua produção (Quadro 6).

Os solos com incremento de produção de matéria seca foram o LVA3, CX2 e LVA1 (70,8 %, 67,3 % e 65,4 %) na aplicação da segunda menor dose de Fe, Mn, Zn e Cu (8,00; 5,00; 2,00 e 1,5 mg/dm³ respectivamente).

Os solos LA1 e LA2 apresentam os menores teores de argila (Quadro 2). Nesses solos a adsorção dos micronutrientes é menor e eles ficam mais na solução do solo. Assim, esperava-se que as plantas de milho cultivadas no LA1 e no LA2 iriam apresentar as maiores produções de matéria seca, entretanto, essa expectativa não foi confirmada.

Quadro 6. Produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (*mMS_PA*) de acordo com os níveis do Fertilizante Multimicronutriente (*nFMMi*) em 12 solos

Solo	<i>nFMMi</i>						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	<i>mMS_PA</i>						
	-----g/vaso-----						
CX1	19,03	21,19	20,06	20,31	19,73	18,06	19,73
CX2	3,12	9,53	9,81	9,65	10,55	9,69	8,72
LA1	9,09	9,57	9,37	9,81	9,21	9,50	9,43
LA2	10,32	10,57	10,45	10,61	10,86	9,56	10,39
LVA1	3,30	9,53	8,54	10,62	10,10	10,36	8,74
LVA2	11,32	11,73	12,67	12,16	12,84	12,15	12,15
LVA3	2,92	10,00	9,95	10,23	10,31	9,66	8,84
LVA4	13,74	14,80	15,42	14,83	16,36	16,54	15,28
Lh	16,67	18,60	19,69	18,50	19,77	18,73	18,66
NV	12,49	11,42	11,81	12,25	11,64	12,30	11,98
PVA1	12,31	12,37	11,20	13,47	12,42	12,78	12,43
PVA2	10,64	13,35	12,41	12,80	12,43	13,21	12,47
Média	10,41	12,72	12,61	12,93	13,02	12,71	12,40

^{1/}O *nFMMi* 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

As plantas de milho cultivadas nos solos LA1, NV e PVA2, não responderam significativamente as aplicações das doses dos quatro micronutrientes, pois, não foi possível o ajuste de nenhuma regressão para esses três solos (Quadro 7). Isso significa que os teores dos micronutrientes existente no LA1, NV e PVA2 já eram suficientes para o desenvolvimento das plantas (Quadro 3).

Para os demais solos, as regressões que melhor explicaram a produção de matéria seca em função das doses de Fe, Mn, Zn e de Cu aplicadas foram a raiz quadrática e a quadrática (Quadro 7).

Quando não foi aplicado micronutrientes, a menor produção de matéria seca ocorreu no LVA3 (Quadro 7). No LVA3 a adsorção dos micronutrientes é alta, pois esse solo apresenta altos teores de argila e de MO. Assim, a disponibilidade dos micronutrientes fica limitada para as plantas. O LVA3 apresenta também os menores teores dos micronutrientes (Quadro 3).

A maior produção de matéria seca, na ausência de aplicação das doses dos quatro micronutrientes aconteceu no CX1 (Quadro 6). O CX1 apresenta os maiores teores de Fe, Mn, Zn e Cu (Quadro 3). O baixo pH do CX1 (Quadro 5),

também favoreceu a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas de milho, o que propiciou maior produção de matéria seca (Quadro 6).

A produção de máxima eficiência econômica foi simulada considerando a de 95 % da produção máxima física, ela variou entre os 12 solos em estudo de 9,43 a 19,62 g/vaso (Quadro 7). A dose recomendada de Fe, variou de 0,00 a 41,68 mg/dm³; a de Mn de 0,00 a 31,08 mg/dm³; a de Zn de 0,00 a 12,43 e a de Cu variou de 0,00 a 9,32 mg/dm³ (Quadro 8).

A recomendação de não se aplicar doses de Fe, Mn, Zn e de Cu nos solos LA1, NV e PVA1, seria porque esses solos não apresentaram curva de resposta significativa (Quadro 7). Para o LA2 não foi recomendado aplicar doses dos micronutriente, pois o valor do intercepto da equação é maior do que a produção obtida quando se considera 95 % da produção máxima física (Quadro 7), assim seria obtido um valor negativo das doses.

As plantas de milho cultivadas no CX2, LVA1 e LVA3 apresentariam uma produção de matéria seca três vezes maior caso fossem aplicadas as doses dos quatro micronutrientes (Quadro 8).

Quadro 7. Equações de produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (*mMS_PA*) (\hat{y} , g/vaso) em função dos níveis do Fertilizante Multimicronutriente (*nFMMi*), 95 % da produção máxima ($0,95\text{-}\hat{y}_{\text{máx}}$) e níveis recomendáveis do Fertilizante Multimicronutriente (*nrFMMi*)

Solo	Equação	R ²	0,95 $\hat{y}_{\text{máx}}$	<i>nrFMMi</i>
			g/vaso	
CX1	$\hat{y} = 19,16 + 3,1065^{***} x^{0,5} - 1,6152^{**} x$	0,867	19,62	0,026
CX2	$\hat{y} = 3,48 + 9,1940^{***} x^{0,5} - 2,9311^{***} x$	0,943	10,16	1,303
LA1	$\hat{y} = \bar{y} = 9,43$	-	9,43	0,000
LA2	$\hat{y} = 10,26 + 0,4989^{ns} x - 0,1257^{\circ} x^2$	0,876	10,22	0,000
LVA1	$\hat{y} = 3,62 + 8,1944^{***} x^{0,5} - 2,3825^{***} x$	0,920	10,13	1,554
LVA2	$\hat{y} = 11,44 + 0,8652^{\Delta} x - 0,1448^{*} x^2$	0,702	12,10	0,891
	$\hat{y} = 3,35 + 10,0220^{***} x^{0,5} - 3,3085^{***} x$	0,939		
LVA3	x		10,39	1,228
LVA4	$\hat{y} = 13,81 + 1,2997^{\Delta} x^{0,5} - 0,0312^{***} x$	0,846	14,72	0,512
Lh	$\hat{y} = 16,73 + 3,5706^{**} x^{0,5} - 1,1930^{\circ} x$	0,787	18,43	0,354
NV	$\hat{y} = \bar{y} = 11,98$	-	11,98	0,000
PVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 12,43$	-	12,43	0,000
PVA2	$\hat{y} = 10,97 + 2,4505^{**} x^{0,5} - 0,7262^{*} x$	0,631	12,39	0,547

^{ns}, ^Δ, [°], ^{*}, ^{**}, ^{***}. Não significativo e significativo a 25, 10, 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Quadro 8. Níveis do fertilizante multimicronutriente (*nrFMMi*) e doses de Fe, Mn, Zn e de Cu (mg/dm³) que condicionaram 95 % da produção máxima para cada solo de acordo com os níveis recomendáveis de fertilizante multimicronutriente (*nrFMMi*)

Solo	<i>nrFMMi</i>	-----mg/dm ³ -----			
		<i>drFe</i>	<i>drMn</i>	<i>drZn</i>	<i>drCu</i>
CX1	0,026	0,84	0,53	0,21	0,16
CX2	1,303	41,68	26,05	10,42	7,82
LA1	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
LA2	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
LVA1	1,554	49,73	31,08	12,43	9,32
LVA2	0,891	28,50	17,82	7,13	5,34
LVA3	1,228	39,28	24,55	9,82	7,37
LVA4	0,512	16,39	10,25	4,10	3,07
Lh	0,354	11,32	7,07	2,83	2,12
NV	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
PVA1	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
PVA2	0,547	17,51	10,95	4,38	3,28
Média		17,10	10,69	4,28	3,21

3.2 Teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos no solo

A variação dos teores recuperados de Fe pelos extratores (Quadro 9) ocorreu porque os extratores apresentam diferentes mecanismos de extração.

O M1 é o que apresenta a maior acidez entre os três extratores (pH_M1= 1,2; pH_M3= 2,3), assim, esperava-se que esse extrator fosse extrair os maiores teores de Fe em comparação ao M3 e DTPA. Porém, o M3 recuperou os maiores teores de Fe (Quadro 9). A superioridade do M3 na extração do Fe nos 12 solos, se deve a sua capacidade ácida (pH= 2,3) e a presença do EDTA e de NH₄⁺. O EDTA foi incorporado na composição do M3, com o objetivo de aperfeiçoar a extração de micronutrientes no solo (Mehlich, 1984).

Rodrigues et al. (2001) compararam estes mesmos extratores na determinação de Fe em solos da Amazônia. Neste trabalho, o extrator M3 extraiu maiores teores de Fe que o M1 e o DTPA; e, o mais importante, obteve os melhores coeficientes de correlação entre os teores disponíveis de Fe com o conteúdo desse nutriente na planta. Em outro trabalho, Nascimento et al. (2000), também observaram que o M3 foi o extrator que conseguiu recuperar os maiores teores de Fe do que o M1 e o DTPA, fato semelhante observado por Silva et al. (2004) e Abreu et al. (2004). Estes últimos autores indicaram que os maiores

teores de Fe recuperados pelo M3, se deve ao fato deste extrator conseguir solubilizar parte do Fe associado as frações oxídicas do solo.

Silva et al. (2009) definiram extratores e métodos para análise de Fe em solos do Estado do Paraná, cultivados com soja. Esses autores testaram diferentes relações solo:extrator, para o M1 (1:5 ou 1:10), M3 (1:10) e DTPA (1:2). E concluíram que houve equivalência na extração do Fe entre os três extratores

Apesar de ocorrer também o fenômeno de troca na determinação de Fe pelo M1, a ação solubilizadora desse extrator possui maior destaque. É por meio dela que o M1 consegue dissolver carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados provocando dissolução parcial de minerais de argila silicatadas (Pickering, 1981). Na extração de Fe com o M1, ocorre também o deslocamento de cátions que estão adsorvidos.

Os teores de Fe recuperados nos 12 solos oscilaram em média com o M1 de 56,70 a 172,51 mg/dm³, com o M3 de 47,86 a 233,68 mg/dm³ e com o DTPA 2,79 a 70,17 mg/dm³ (Quadro 9). O CX2 apresentou os menores teores de Fe recuperados pelos extratores porque esse solo possui um alto poder tampão e também baixos teores disponíveis de Fe (Quadro 3).

Os extratores M1 e M3 recuperaram os maiores teores de Fe no LA1 e LA2 (Quadro 9). Esses dois solos são os menos tamponados, pois possuem os menores teores de argila (Quadro 2) e a adsorção de Fe é menor, ficando maior fração desse micronutriente na solução do solo o que facilita a extração com o M1 e o M3.

Quadro 9. Teores de Fe disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdFe_M1*), Mehlich-3 (*tdFe_M3*) e DTPA (*tdFe_DTPA*) em função das doses de Fe aplicadas em 12 solos

Solo	Dose de Fe (mg/dm ³)						Média
	0,0	8,0	16,0	32,0	48,0	80,0	
	<i>tdFe_M1</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	107,48	119,72	111,85	129,00	126,68	139,92	122,44
CX2	54,29	57,70	53,79	58,93	47,64	67,85	56,70
LA1	80,88	96,09	104,83	118,40	103,08	127,10	105,06
LA2	183,38	175,80	178,30	198,74	183,01	229,62	191,48
LVA1	107,88	117,68	92,47	104,04	128,00	112,42	110,42
LVA2	134,54	119,42	121,15	122,42	112,22	146,13	125,98
LVA3	94,17	67,84	107,91	125,83	120,62	105,50	103,65
LVA4	78,89	85,70	79,78	86,33	98,87	110,57	90,02
Lh	80,92	83,49	81,40	86,71	101,28	104,06	89,64
NV	166,17	171,49	179,17	173,23	169,12	175,86	172,51
PVA1	104,99	105,90	111,99	107,22	112,51	113,36	109,33
PVA2	95,99	110,86	107,41	114,90	110,41	134,89	112,41
Média	107,47	109,31	110,84	118,81	117,79	130,61	115,80
	<i>tdFe_M3</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	218,49	213,49	224,24	210,94	225,87	236,49	221,59
CX2	41,02	47,20	47,94	48,68	43,46	58,84	47,86
LA1	220,06	235,44	220,35	242,89	235,17	248,18	233,68
LA2	174,01	164,80	177,40	170,93	172,55	179,83	173,25
LVA1	68,36	69,31	68,46	72,63	75,53	83,45	72,96
LVA2	113,40	113,63	112,42	124,61	117,28	135,92	119,54
LVA3	77,25	71,31	89,82	99,63	104,33	92,55	89,15
LVA4	152,98	155,44	157,27	164,38	165,72	183,31	163,18
Lh	144,56	156,57	151,35	157,03	164,57	175,45	158,25
NV	143,82	148,31	152,58	151,61	157,25	167,03	153,43
PVA1	142,88	146,74	144,08	143,44	139,69	151,70	144,76
PVA2	86,55	108,30	94,95	110,77	109,78	120,52	105,15
Média	131,95	135,88	136,74	141,46	142,60	152,77	140,23
	<i>tdFe_DTPA</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	61,61	62,51	65,27	69,03	67,10	70,13	65,94
CX2	2,11	2,35	2,56	2,38	2,43	4,93	2,79
LA1	31,94	35,04	38,22	51,16	50,95	64,32	45,27
LA2	38,61	40,84	45,62	46,14	64,89	63,89	50,00
LVA1	8,91	9,85	9,72	14,46	15,16	14,28	12,06
LVA2	11,09	11,13	12,06	13,18	13,32	18,34	13,18
LVA3	4,75	3,77	4,60	5,14	5,06	6,33	4,94
LVA4	23,39	23,36	30,74	24,88	28,98	35,43	27,80
Lh	62,51	63,82	67,82	69,11	72,01	85,73	70,17
NV	3,72	2,64	2,72	3,97	3,37	4,08	3,42
PVA1	13,57	15,42	15,26	15,82	16,27	18,13	15,74
PVA2	3,18	3,13	3,41	3,67	3,84	4,29	3,59
Média	22,12	22,82	24,83	26,58	28,61	32,49	26,24

O modelo linear foi o que melhor se ajustou para a maioria dos solos, aos dados dos teores de Fe recuperado pelos extratores em função das doses adicionadas desse micronutriente (Quadro 10).

Na extração de Fe pelo M1 não foi possível ajustar modelos para os solos: CX2, LVA1, NV e para o PVA1 (Quadro 10). No caso do DTPA, além do CX2 e do NV não foi possível ajustar modelos estatísticos para o PVA2 (Quadro 10).

As diferenças nos valores dos interceptos nas equações que relacionam os teores de Fe recuperado em função do Fe adicionado pelos três extratores foram de acordo com os teores iniciais de Fe nos 12 solos. O DTPA foi o extrator que recuperou as menores quantidades de Fe nos 12 solos, porque possui os menores interceptos (Quadro 10).

Quando não foi aplicada doses de Fe, o CX2 apresentou os menores teores recuperados desse micronutriente pelos extratores (Quadro 10). O CX2 possui um alto teor de argila (Quadro 2). Assim, o Fe fica mais adsorvido aos colóides desse solo o que dificulta a extração do Fe.

O teor de argila dos solos foi uma das características responsáveis pela grande variação dos níveis críticos de Fe entre os solos e os extratores (Quadro 10). Os menores níveis críticos de Fe foram obtidos com o DTPA e os maiores com o M3.

Os maiores níveis críticos de Fe ocorreram na classe dos Latossolos. O maior nível crítico de Fe com o M1 foi obtido no LA2 (173,78 mg/dm³), com o M3 no LA1 (222,72 mg/dm³) e com o DTPA no Lh (64,85 mg/dm³).

A maior necessidade de aplicação de dose de Fe para o Lh, se deve ao seu tamponamento. Esse solo possui altos teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3), e o Fe fica mais adsorvido aos colóides desse solo.

A expectativa era que os solos LA1 e LA2 apresentassem menores níveis críticos de Fe, pois são os menos tamponados (Quadro 2). Entretanto, o elevado pH encontrado naturalmente nesses solos (Quadro 3) diminuiu a disponibilidade de Fe para as plantas. Assim, ocorre a necessidade de aplicação de maiores doses de Fe nesses dois solos.

Os níveis críticos de Fe pelo extrator M1 nos 12 solos, estão acima do nível crítico proposto por Alvarez et al. (1999) para solos de Minas Gerais. Assim, os 12 solos apresentaram teores de Fe que lhes permitem alcançar elevadas produtividades. Os níveis críticos de Fe encontrados pelo M1 nesse estudo estão

72,7 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999).

Os solos CX2, LVA3, NV e PVA2 (Quadro 10) apresentaram valores abaixo do nível crítico de Fe proposto para os solos de São Paulo com o extrator DTPA (Raij et al., 1997). Assim, há necessidade de aplicação de Fe nesses solos para que se atinge elevadas produtividades.

Os níveis críticos de Fe obtidos com o DTPA estão em média 48,8 % acima do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

As menores taxas de recuperação de Fe ocorreram com DTPA e as maiores com o M3 (Quadro 10). A presença do EDTA no M3, em meio ácido favorece a extração de Fe em comparação com o M1 e o DTPA. Além também, de NH_4^+ que faz troca com os íons de Fe.

As maiores taxas de recuperação de Fe com o M1 ocorreram nos solos menos tamponados e as menores nos solos mais tamponados (Quadro 10). O M1, possui maior dificuldade em extrair o Fe em solos mais argilosos em comparação aos arenosos, pois a adsorção de Fe nos argilosos é maior.

A menor taxa de recuperação de Fe tanto com o M3 quanto com o DTPA ocorreu no PVA1. E a maior taxa de recuperação de Fe com o M3 ocorreu no LVA3 e com o DTPA no LA1 (Quadro 10).

As taxas de recuperação de Fe pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 20,90 %; 28,30 % e 13,50 % do Fe adicionado. Aspiazú (2003) determinou taxas de recuperação de Fe em solos de Minas Gerais e da Bahia, após a aplicação de doses crescentes de Fe nesses solos. Este autor encontrou as seguintes taxas de recuperação desse micronutriente: 40,90 %, 23,78 % e 19,27 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 10. Equações dos teores de Fe recuperado pelos extratores Mehlich-1 (*tdFe_M1*), Mehlich-3 (*tdFe_M3*) e DTPA (*tdFe_DTPA*) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses de Fe (x , mg/dm³) aplicadas em 12 solos, nível crítico de Fe e a taxa de recuperação de Fe por Mehlich-1 (*trFe_M1*), Mehlich-3 (*trFe_M3*) e DTPA (*trFe_DTPA*)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
	M1		mg/dm ³	<i>trFe_M1</i>
CX1	$\hat{y} = 111,16 + 0,3678^{**} x$	0,839	111,47	0,368
CX2	$\hat{y} = \bar{y} = 56,70$	-	< 56,70	-
LA1	$\hat{y} = 91,00 + 0,4583^{**} x$	0,694	91,00	0,458
LA2	$\hat{y} = 173,78 + 0,5769^{***} x$	0,710	173,78	0,577
LVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 110,42$	-	< 110,42	-
LVA2	$\hat{y} = 132,20 - 0,9891^{ns} x + 0,0144^{*} x^2$	0,834	115,71	-
LVA3	$\hat{y} = \bar{y} = 103,65$	-	< 103,65	-
LVA4	$\hat{y} = 77,83 + 0,3976^{**} x$	0,915	84,35	0,398
Lh	$\hat{y} = 79,64 + 0,3262^{*} x$	0,878	83,33	0,326
NV	$\hat{y} = \bar{y} = 172,51$	-	< 172,51	-
PVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 109,33$	-	< 109,33	-
PVA2	$\hat{y} = 100,65 + 0,3836^{***} x$	0,798	107,37	0,384
		Média	109,97	0,209
	M3			<i>trFe_M3</i>
CX1	$\hat{y} = 212,06 + 0,3106^{***} x$	0,975	212,32	0,311
CX2	$\hat{y} = 41,76 + 0,1987^{*} x$	0,926	50,04	0,199
LA1	$\hat{y} = 222,72 + 0,3576^{***} x$	0,849	222,72	0,358
LA2	$\hat{y} = 168,24 + 0,1633^{o} x$	0,849	168,24	0,163
LVA1	$\hat{y} = 67,03 + 0,1932^{*} x$	0,959	76,64	0,193
LVA2	$\hat{y} = 110,36 + 0,2996^{**} x$	0,936	118,90	0,300
LVA3	$\hat{y} = 77,02 + 0,3955^{***} x$	0,848	92,56	0,396
LVA4	$\hat{y} = 151,95 + 0,3663^{***} x$	0,966	157,95	0,366
Lh	$\hat{y} = 147,42 + 0,3535^{***} x$	0,957	151,42	0,354
NV	$\hat{y} = 145,38 + 0,2628^{**} x$	0,945	145,38	0,263
PVA1	$\hat{y} = 140,69 + 0,1324^{o} x$	0,924	140,69	0,132
PVA2	$\hat{y} = 93,99 + 0,3636^{***} x$	0,777	100,36	0,364
		Média	136,44	0,283
	DTPA			<i>trFe_DTPA</i>
CX1	$\hat{y} = 62,80 + 0,1024^{**} x$	0,778	62,89	0,102
CX2	$\hat{y} = \bar{y} = 2,79$	-	< 2,79	-
LA1	$\hat{y} = 32,81 + 0,4064^{***} x$	0,955	32,81	0,406
LA2	$\hat{y} = 39,15 + 0,3539^{***} x$	0,833	39,15	0,354
LVA1	$\hat{y} = 9,64 + 0,0789^{*} x$	0,676	13,56	0,079
LVA2	$\hat{y} = 10,51 + 0,0872^{**} x$	0,918	13,00	0,087
LVA3	$\hat{y} = \bar{y} = 4,94$	-	< 4,94	-
LVA4	$\hat{y} = 23,72 + 0,1329^{***} x$	0,672	25,90	0,133
Lh	$\hat{y} = 61,74 + 0,2750^{***} x$	0,949	64,85	0,275
NV	$\hat{y} = \bar{y} = 3,42$	-	< 3,42	-
PVA1	$\hat{y} = 14,29 + 0,0472^{o} x$	0,890	14,29	0,047
PVA2	$\hat{y} = \bar{y} = 3,59$	-	< 3,59	-
		Média	23,43	0,135

^{ns}, ^o, [°], ^{*}, ^{**}, ^{***}. Não significativo e significativo a 15, 10, 5, 1 e 0,1 % respectivamente

Os teores recuperados de Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA aumentaram com as doses de Mn aplicadas nos 12 solos (Quadro 11). Os teores de Mn

extraídos com o M1 foram de 17,44 a 283,88 mg/dm³, com o M3 de 17,31 a 492,58 mg/dm³ e com o DTPA de 5,20 a 92,97 mg/dm³ (Quadro 11).

Como aconteceu na extração de Fe, o DTPA recuperou os menores teores de Mn, e o M3 os maiores teores (Quadro 11).

Abreu et al. (2004) compararam métodos de extração de Mn em 44 amostras de solos do Estado de São Paulo, e tanto o M3 quanto o M1, extraíram maiores teores disponíveis de Mn que o DTPA. Esses autores relataram que a maior extração de Mn pelo M3 e M1, pode ser devida a liberação do Mn co-precipitado com o Fe, que ocorre durante a extração, pela ação solubilizadora do M1 e M3. Fato que não ocorreria com o DTPA, já que, o seu pH é praticamente inalterado durante a extração do Mn. Outra evidencia que pode ter levado o M3 obter maiores teores de Mn seria a presença do EDTA na sua composição, pois, o EDTA é um agente quelante que forma complexos com o Mn.

Aspiazú (2003), aplicou doses crescentes de Mn em solos do Estado de Minas Gerais e da Bahia. Este autor relatou que o DTPA recuperou os menores teores de Mn e o M3 os maiores. Fato semelhante ocorreu em um estudo realizado por Rodrigues et al. (2001) com solos da Amazônia, onde o M3 recuperou os maiores teores de Mn e o mais importante, que esses teores apresentaram os melhores coeficientes de correlação com conteúdo de Mn na planta. Fonseca et al. (2010), avaliaram métodos de extração de micronutrientes para a cultura do trigo. Os autores relataram que o M3 apresentou maior capacidade de extração do Mn, entretanto, este método foi ineficiente para prever a disponibilidade do Mn para as plantas de trigo.

Além de sua capacidade ácida, a presença do EDTA e de NH₄⁺ na composição do M3, tornam esse extrator superior na extração de Mn em relação ao M1 e ao DTPA. O EDTA foi incorporado na composição do M3 para melhorar a recuperação de micronutrientes (Mehlich, 1984).

O LVA3 apresentou os menores teores de Mn recuperados (Quadro 10). Esse solo possui altos teores de argila e de MO, assim, a extração de Mn pelos extratores é dificultada, pois a adsorção desse nutriente no LVA3 é grande.

A concentração do DTPA no momento da extração do Mn é cinco vezes maior que a do EDTA na solução do M3, 5 mmol/L e 1 mmol/L respectivamente. Em condições mais alcalinas, o DTPA possui maior capacidade de formar quelatos com Mn do que o EDTA. O EDTA, presente na composição do M3,

forma quelatos com o Mn em condições mais ácidas (Moreira et al., 2006). Porém, o HOAc 0,2 mol/L permite ao M3 solubilizar o Mn, o que aumenta o poder de extração desse extrator. Assim, a capacidade de solubilizar o Mn do M3 prevaleceu sobre a capacidade de queletação do DTPA, nos solos LA1 e LVA1 e PVA1, solos com pH alcalino (Quadro 5).

Quadro 11. Teores de Mn disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdMn_M1*), Mehlich-3 (*tdMn_M3*) e DTPA (*tdMn_DTPA*) em função das doses de Mn aplicadas em 12 solos do Estado de Minas Gerais

Solo	Dose de Mn (mg/dm ³)						Média
	0,0	5,0	10,0	20,0	30,0	50,0	
	<i>tdMn_M1</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	61,74	67,05	68,34	76,31	84,77	94,92	75,52
CX2	2,39	5,16	10,93	17,77	25,47	42,92	17,44
LA1	8,23	11,87	17,74	26,40	32,39	42,52	23,19
LA2	5,84	10,45	15,45	22,45	23,17	33,43	18,47
LVA1	9,60	12,05	11,72	25,99	36,61	48,30	24,05
LVA2	11,65	13,26	18,14	23,34	29,99	45,01	23,56
LVA3	2,85	5,24	7,25	15,56	24,12	39,22	15,71
LVA4	264,96	306,98	259,72	306,87	266,34	313,42	286,38
Lh	18,92	22,78	26,72	38,52	46,22	54,73	34,65
NV	55,17	31,72	30,56	50,32	60,51	68,83	49,52
PVA1	277,65	271,69	272,53	276,16	291,30	313,96	283,88
PVA2	21,39	23,95	25,51	35,82	37,40	58,37	33,74
Média	61,70	65,18	63,72	76,29	79,86	96,30	73,84
	<i>tdMn_M3</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	34,75	38,66	44,60	50,06	58,88	73,84	50,13
CX2	1,05	4,34	8,16	18,46	26,95	48,08	17,84
LA1	5,84	10,53	15,76	24,06	32,55	44,09	22,14
LA2	3,87	7,71	11,46	19,90	27,09	33,85	17,31
LVA1	5,79	9,73	10,61	24,06	33,28	45,97	21,57
LVA2	4,84	7,40	11,68	17,95	26,04	50,98	19,81
LVA3	0,99	4,57	6,60	15,49	24,82	44,62	16,18
LVA4	164,45	163,90	159,23	175,68	196,25	217,65	179,53
Lh	13,23	16,65	19,32	23,81	36,21	47,17	26,07
NV	85,46	44,47	42,51	74,99	73,59	92,85	68,98
PVA1	504,24	497,82	482,03	492,80	493,51	485,10	492,58
PVA2	29,22	37,93	36,92	46,56	48,46	67,89	44,50
Média	71,14	70,31	70,74	81,98	89,80	104,34	81,39
	<i>tdMn_DTPA</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	13,98	17,16	18,48	26,13	31,14	54,66	26,92
CX2	0,19	1,27	2,23	5,04	8,01	19,66	6,07
LA1	3,19	5,85	10,95	22,37	33,06	44,44	19,98
LA2	1,44	4,34	7,89	9,84	29,87	30,76	14,02
LVA1	1,20	5,74	6,32	18,05	24,58	46,16	17,01
LVA2	0,99	2,28	5,89	7,46	12,73	23,13	8,75
LVA3	0,37	1,52	1,32	5,64	6,03	16,32	5,20
LVA4	65,62	38,86	51,06	58,30	51,24	79,72	57,47
Lh	3,26	5,58	9,45	19,62	19,75	37,37	15,84
NV	10,60	3,97	3,71	10,16	14,50	14,08	9,50
PVA1	88,12	88,53	87,70	92,66	94,43	106,40	92,97
PVA2	3,73	4,60	6,29	11,23	13,05	23,95	10,47
Média	16,06	14,98	17,61	23,88	28,20	41,39	23,68

A regressão linear foi a que melhor se ajustou para a grande maioria dos solos aos dados dos teores de Mn recuperado em função do Mn adicionado (Quadro 12). Para o NV, a regressão raiz quadrática apresentou o melhor ajuste para os três extratores (Quadro 12). Esta regressão também foi a que apresentou o melhor ajuste para o LVA4, mas, somente para os teores de Mn recuperados pelo DTPA. Para o LVA4, não foi possível ajustar nenhuma regressão para os teores de Mn recuperados pelo M1, fato semelhante ocorreu para o PVA1, porém na extração com o M3 (Quadro 12).

As diferenças nos valores dos interceptos nas equações que relacionam os teores de Mn recuperados em função do Mn adicionado pelos extratores foram de acordo com os teores iniciais desse micronutriente nos 12 solos. O DTPA foi o extrator que recuperou os menores teores de Mn em todos os solos (Quadro 12).

No LVA3 os extratores recuperaram os menores teores de Mn quando não ocorreu a aplicação das doses desse micronutriente (Quadro 12). O LVA3 possui altos teores de argila (Quadro 2) e de MO (Quadro 3), assim, a adsorção de Mn nesse solo é elevada, o que dificulta a extração do Mn.

Os menores níveis críticos de Mn foram obtidos com o DTPA e os maiores com o M3. O DTPA possui o menor poder de extração de Mn e o M3 o maior (Quadro 12).

O maior nível crítico de Mn com o M1 ocorreu no LVA4 (286,38 mg/dm³). O PVA1 apresentou os maiores níveis críticos de Mn tanto para o M3 quanto para o DTPA, 492,58 mg/dm³ e 85,82 mg/dm³ respectivamente (Quadro 12). O LVA4 e o PVA1 foram os solos que apresentaram os maiores teores disponíveis de Mn (Quadro 3).

Todos os solos apresentaram níveis críticos de Mn pelo extrator M1 acima do valor proposto por Alvarez et al. (1999) para solos de Minas Gerais (Quadro 9). Os níveis críticos de Mn com o M1 estão 88,6 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999).

O LA1 e LA2 apresentaram nível crítico de Mn pelo DTPA abaixo do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997). Os níveis críticos de Mn obtidos com o DTPA estão 73,3 % acima do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

As menores taxas de recuperação de Mn ocorreram pelo extrator DTPA e as maiores pelo M3 (Quadro 12). A presença do EDTA no M3, em meio ácido favoreceu a extração de Mn em comparação ao M1 e ao DTPA.

As taxas de recuperação de Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 60,40 %; 69,50 % e 48,2 % do Mn adicionado. Aspiazú (2003), aplicou doses crescentes de Mn em solos de Minas Gerais e da Bahia e encontrou taxas de recuperação de Mn bem maiores as desse estudo: 88,18 %, 90,73 % e 69,46 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 12. Equações dos teores de Mn recuperado pelos extratores Mehlich-1 (*tdMn_M1*), Mehlich-3 (*tdMn_M3*) e DTPA (*tdMn_DTPA*) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses Mn (x , mg/dm³) em 12 solos, nível crítico de Mn e a taxa de recuperação de Mn por Mehlich-1 (*trMn_M1*), Mehlich-3 (*trMn_M3*) e DTPA (*trMn_DTPA*)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
			mg/dm ³	<i>trMn_M1</i>
M1				
CX1	$\hat{y} = 62,73 + 0,6677^{***} x$	0,989	63,08	0,668
CX2	$\hat{y} = 1,90 + 0,8107^{***} x$	0,998	23,02	0,811
LA1	$\hat{y} = 9,88 + 0,6946^{***} x$	0,977	9,88	0,695
LA2	$\hat{y} = 8,46 + 0,5223^{***} x$	0,949	8,46	0,522
LVA1	$\hat{y} = 7,95 + 0,8398^{***} x$	0,968	34,05	0,840
LVA2	$\hat{y} = 10,70 + 0,6710^{***} x$	0,995	22,65	0,671
LVA3	$\hat{y} = 1,36 + 0,7486^{***} x$	0,994	19,74	0,749
LVA4	$\hat{y} = \bar{y} = 286,38$	-	< 286,38	-
Lh	$\hat{y} = 20,28 + 0,7496^{***} x$	0,964	25,58	0,750
NV	$\hat{y} = 51,56 - 10,5711^{**} x^{0,5} + 1,9542^{***} x$	0,794	51,56	-
PVA1	$\hat{y} = 268,32 + 0,8122^{***} x$	0,849	268,32	0,812
PVA2	$\hat{y} = 19,80 + 0,7273^{***} x$	0,968	27,76	0,727
	Média		70,04	0,604
M3				
CX1	$\hat{y} = 35,28 + 0,7749^{***} x$	0,997	35,69	0,775
CX2	$\hat{y} = -0,36 + 0,9492^{***} x$	0,997	24,37	0,949
LA1	$\hat{y} = 7,37 + 0,7708^{***} x$	0,988	7,37	0,771
LA2	$\hat{y} = 5,45 + 0,6189^{***} x$	0,966	5,45	0,619
LVA1	$\hat{y} = 5,40 + 0,8438^{***} x$	0,982	31,63	0,844
LVA2	$\hat{y} = 2,39 + 0,9090^{***} x$	0,975	18,58	0,909
LVA3	$\hat{y} = -0,67 + 0,8794^{***} x$	0,992	20,92	0,879
LVA4	$\hat{y} = 156,69 + 1,1913^{***} x$	0,928	168,90	1,191
Lh	$\hat{y} = 12,70 + 0,6973^{***} x$	0,982	17,63	0,697
NV	$\hat{y} = 80,18 - 17,9976^{***} x^{0,5} + 2,9241^{***} x$	0,741	80,18	-
PVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 492,58$	-	< 492,58	-
PVA2	$\hat{y} = 30,90 + 0,7096^{***} x$	0,962	38,67	0,710
	Média		78,50	0,695
DTPA				
CX1	$\hat{y} = 11,73 + 0,7926^{***} x$	0,964	12,15	0,793
CX2	$\hat{y} = -1,23 + 0,3806^{***} x$	0,952	8,69	0,381
LA1	$\hat{y} = 3,24 + 0,8732^{***} x$	0,981	3,24	0,873
LA2	$\hat{y} = 1,56 + 0,6502^{***} x$	0,868	1,56	0,650
LVA1	$\hat{y} = -0,17 + 0,8964^{***} x$	0,988	27,69	0,896
LVA2	$\hat{y} = 0,37 + 0,4370^{***} x$	0,982	8,16	0,437
LVA3	$\hat{y} = -0,73 + 0,3094^{***} x$	0,934	6,87	0,309
LVA4	$\hat{y} = 63,88 - 11,8351^{***} x^{0,5} + 1,9724^{***} x$	0,788	46,21	-
Lh	$\hat{y} = 2,98 + 0,6709^{***} x$	0,971	7,73	0,671
NV	$\hat{y} = 9,19 - 2,4168^{*} x^{0,5} + 0,4875^{***} x$	0,645	9,19	-
PVA1	$\hat{y} = 85,92 + 0,3682^{***} x$	0,921	85,82	0,368
PVA2	$\hat{y} = 2,73 + 0,4038^{***} x$	0,980	7,15	0,404
	Média		18,71	0,482

*, ** e ***. Significativo a 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Houve uma ligeira superioridade do M1 na extração do Zn em relação ao M3 e ao DTPA (Quadro 13). O extrator M1 recuperou em média 7,80 mg/dm³, o M3 6,16 mg/dm³ e o DTPA 4,57 mg/dm³ de Mn (Quadro 13). Resultados semelhantes foram encontrados por Menezes et al. (2010), Santos Neto (2003), Nascimento (2001) e Oliveira (1999), onde o M1 recuperou os maiores teores disponíveis de Zn.

O M1 foi desenvolvido inicialmente para a extração de P em solos ácidos e com baixa CTC, porém, no Brasil em muitos laboratórios de rotina ele é o mais utilizado na extração de micronutrientes.

O LA1 apresentou os maiores teores recuperados de Zn pelos extratores. Esse solo possui o menor poder tampão entre os 12 (Quadros 2 e 3), com isso a adsorção de Zn no LA1 é menor e esse micronutriente fica em maior concentração na solução do solo e a extração pelos extratores é facilitada.

O M1 é o extrator que possui a maior acidez entre os extratores ($\text{pH}_{\text{M1}}= 1,2$; $\text{pH}_{\text{M3}}= 2,3$), assim, esse o motivo do M1 recuperar os maiores teores de Zn. Entretanto, com a dissolução ácida, o M1, acessa formas de Zn que as plantas não tem acesso durante o cultivo.

O M3 é menos ácido que o M1, porém, ele também extrai o Zn pela dissolução de compostos que contem esse micronutriente. Outro mecanismo de extração que ocorre quando se utiliza o M3 na extração é a complexação e também a troca com o NH_4^+ . Na extração de Zn por DTPA, o pH desse extrator é praticamente inalterado no momento da extração, não ocorrendo solubilização de compostos que contem Zn.

Quadro 13. Teores de Zn disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdZn_M1*), Mehlich-3 (*tdZn_M3*) e DTPA (*tdZn_DTPA*) em função das doses de Zn aplicadas em 12 solos

Solo	Dose de Zn (mg/dm ³)						Média
	0,0	2,0	4,0	8,0	12,0	20,0	
	<i>tdZn_M1</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	2,38	4,18	5,90	9,36	10,93	18,32	8,51
CX2	0,21	1,62	3,39	7,30	10,94	19,09	7,09
LA1	5,64	8,13	9,83	13,36	15,24	19,35	11,92
LA2	2,07	3,69	6,19	9,23	11,52	12,34	7,51
LVA1	0,28	2,75	1,42	7,70	10,94	13,59	6,11
LVA2	0,92	2,09	3,40	6,18	8,95	18,07	6,60
LVA3	0,06	1,48	2,07	5,70	9,90	15,26	5,75
LVA4	3,71	5,28	6,73	10,36	16,81	20,68	10,59
Lh	4,24	5,86	7,26	12,68	16,41	18,61	10,84
NV	0,82	2,43	3,07	7,53	12,43	11,28	6,26
PVA1	1,24	2,58	2,42	5,95	10,68	14,30	6,20
PVA2	1,04	2,04	3,19	7,28	7,84	15,66	6,17
Média	1,89	3,51	4,57	8,55	11,88	16,38	7,80
	<i>tdZn_M3</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	1,78	3,24	4,61	7,25	9,08	14,07	6,67
CX2	0,24	1,42	2,37	5,32	8,43	14,06	5,31
LA1	5,83	7,90	10,41	14,29	17,26	20,53	12,70
LA2	1,76	3,18	4,34	6,91	10,26	17,28	7,29
LVA1	0,35	2,35	2,20	6,07	10,56	16,31	6,31
LVA2	0,89	1,72	3,19	5,11	7,68	14,23	5,47
LVA3	0,21	1,15	1,41	4,17	6,80	12,11	4,31
LVA4	2,47	4,04	4,99	7,93	12,25	16,36	8,01
Lh	2,26	3,15	3,39	4,91	8,09	12,12	5,65
NV	0,51	1,46	1,56	4,70	6,13	6,21	3,43
PVA1	1,03	2,10	2,13	6,31	7,49	11,92	5,16
PVA2	0,44	1,09	1,90	4,45	4,74	8,85	3,58
Média	1,48	2,73	3,54	6,45	9,06	13,67	6,16
	<i>tdZn_DTPA</i>						
	-----mg/dm ³ -----						
CX1	0,97	2,30	3,73	6,52	7,74	10,58	5,31
CX2	0,10	0,21	1,25	2,07	3,20	6,10	2,16
LA1	4,41	6,28	7,50	12,60	19,05	19,18	11,50
LA2	1,03	2,44	4,25	7,80	11,37	15,03	6,99
LVA1	0,07	1,34	1,85	5,81	9,30	14,67	5,51
LVA2	0,14	0,46	1,30	2,31	3,52	6,70	2,41
LVA3	0,10	0,41	0,58	1,78	2,56	4,77	1,70
LVA4	1,35	2,53	3,51	5,67	8,77	12,64	5,74
Lh	1,53	2,41	3,31	5,88	7,82	12,50	5,57
NV	0,22	0,32	0,53	1,90	3,13	3,43	1,59
PVA1	0,39	1,39	1,61	3,40	6,08	9,92	3,80
PVA2	0,14	0,55	0,89	2,93	3,14	7,70	2,56
Média	0,87	1,72	2,53	4,89	7,14	10,27	4,57

O modelo linear foi o que melhor se ajustou para os 12 solos nos três extratores químicos aos dados dos teores do Zn recuperado em função do Zn adicionado (Quadro 14). A diferença nos valores dos interceptos das equações se

deve aos diferentes teores iniciais de Zn (Quadro 3). O DTPA extraiu os menores teores de Zn. Porém, ao contrário do que aconteceu na extração do Fe e do Mn, para o Zn, foi o M1 que apresentou os maiores valores dos interceptos das equações e não o M3 (Quadro 14).

Na dose zero de Zn, foi no LVA3 que o M1 e M3 recuperaram os menores teores de Zn (Quadro 14). O LVA3 é o solo que possui maiores teores de argila (Quadro 2). Nesse solo, a adsorção de Zn é grande, o que dificulta a extração desse micronutriente. O PVA2 foi o solo que apresentou os menores teores de Zn recuperados pelo extrator DTPA na dose zero desse micronutriente (Quadro 14).

Os menores níveis críticos de Mn foram obtidos pelo DTPA e os maiores pelo M1 (Quadro 14). O DTPA possui menor poder de extração de Zn e o M1 o maior (Quadro 14).

O LVA1, foi o solo com os maiores níveis críticos de Zn para os três extratores, M1 (9,48 mg/dm³), M3 (10,20 mg/dm³) e DTPA (9,12 mg/dm³). Esse solo possui um dos menores teores de argila (Quadro 2) e apresentou a maior dose recomendada de Zn (Quadro 8). O maior nível crítico de Zn obtido pelo LVA1, pode ser em consequência do maior pH atingido por esse solo (Quadro 5). Em condições de pH elevado a disponibilidade de Zn para as plantas é menor. Assim, necessita-se de aplicação de maiores doses de Zn para aumentar a disponibilidade desse micronutriente.

Os níveis críticos de Zn obtidos pelos 12 solos com o extrator M1 estão acima do valor proposto por Alvarez et al. (1999) para solos de Minas Gerais (Quadro 13). O mesmo não se pode dizer para os níveis críticos de Zn obtidos com o DTPA. Pois os solos NV e PVA1, apresentaram nível crítico inferior ao valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997). Os níveis críticos de Zn obtidos nessa pesquisa com o M1 estão em média 72,3 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999). Os níveis críticos de Zn obtidos com o DTPA estão em média 56,5 % acima do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

As menores taxas de recuperação de Zn ocorreram com o DTPA e as maiores com o M1 (Quadro 14). O M1 possui maior acidez que o M3 e o DTPA. Assim, o M1 consegue promover o deslocamento de cátions adsorvidos, dissolvendo carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados e provoca a dissolução parcial de argilas silicatadas.

As menores taxas de recuperação de Zn com os extratores ocorreram no NV (Quadro 14). Esse solo possui os maiores teores de argila e a adsorção de Zn nele é muito grande.

As taxas de recuperação de Zn pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 74,60 %; 61,80 % e 48,50 % do Zn adicionado. Menezes et al. (2010) encontraram os seguintes valores para as taxas de recuperação de Zn em solos de Minas Gerais: M1 (66,0 %), M3 (54,00 %) e DTPA (45,74 %). Rodrigues et al. (2009) pesquisaram também solos mineiros e encontraram taxas de recuperação de Zn da ordem de 92,00 %, 72,00 % e 59,00 % para os mesmos extratores. Já Santos Neto (2003), após aplicar doses crescentes de Zn em solos de Minas Gerais e da Bahia encontrou taxas de recuperação de Zn de 51,00 %, 41,00 % e 36,00 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 14. Equações dos teores de Zn recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdZn_M1$), Mehlich-3 ($tdZn_M3$) e DTPA ($tdZn_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses de Zn (x , mg/dm³) aplicadas em 12 solos, nível crítico de Zn e a taxa de recuperação de Zn por Mehlich-1 ($trZn_M1$), Mehlich-3 ($trZn_M3$) e DTPA ($trZn_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
M1			mg/dm ³	$trZn_M1$
CX1	$\hat{y} = 2,59 + 0,7729^{***} x$	0,992	2,75	0,773
CX2	$\hat{y} = -0,21 + 0,9519^{***} x$	0,999	9,71	0,952
LA1	$\hat{y} = 6,81 + 0,6675^{***} x$	0,970	6,81	0,668
LA2	$\hat{y} = 3,45 + 0,5292^{***} x$	0,873	3,45	0,529
LVA1	$\hat{y} = 0,69 + 0,7072^{***} x$	0,923	9,48	0,707
LVA2	$\hat{y} = 0,13 + 0,8440^{***} x$	0,979	6,14	0,844
LVA3	$\hat{y} = -0,28 + 0,7863^{***} x$	0,991	7,44	0,786
LVA4	$\hat{y} = 3,68 + 0,9019^{***} x$	0,969	7,38	0,902
Lh	$\hat{y} = 4,95 + 0,7720^{***} x$	0,932	7,14	0,772
NV	$\hat{y} = 1,69 + 0,5966^{***} x$	0,821	1,69	0,597
PVA1	$\hat{y} = 0,86 + 0,6958^{***} x$	0,968	0,86	0,696
PVA2	$\hat{y} = 0,65 + 0,7205^{***} x$	0,976	3,80	0,721
		Média	5,55	0,746
M3				$trZn_M3$
CX1	$\hat{y} = 2,04 + 0,6044^{***} x$	0,997	2,17	0,604
CX2	$\hat{y} = -0,07 + 0,7012^{***} x$	0,998	7,24	0,701
LA1	$\hat{y} = 6,99 + 0,7451^{***} x$	0,955	6,99	0,745
LA2	$\hat{y} = 1,37 + 0,7717^{***} x$	0,994	1,37	0,772
LVA1	$\hat{y} = 0,05 + 0,8167^{***} x$	0,986	10,20	0,817
LVA2	$\hat{y} = 0,40 + 0,6616^{***} x$	0,989	5,11	0,662
LVA3	$\hat{y} = -0,34 + 0,6061^{***} x$	0,989	5,61	0,606
LVA4	$\hat{y} = 2,51 + 0,7168^{***} x$	0,989	5,45	0,717
Lh	$\hat{y} = 1,80 + 0,5031^{***} x$	0,979	3,22	0,503
NV	$\hat{y} = 1,01 + 0,3156^{***} x$	0,841	1,01	0,316
PVA1	$\hat{y} = 0,87 + 0,5593^{***} x$	0,978	0,87	0,559
PVA2	$\hat{y} = 0,38 + 0,4166^{***} x$	0,979	2,20	0,417
		Média	4,29	0,618
DTPA				$trZn_DTPA$
CX1	$\hat{y} = 1,63 + 0,4796^{***} x$	0,966	1,73	0,480
CX2	$\hat{y} = -0,16 + 0,3025^{***} x$	0,988	2,99	0,303
LA1	$\hat{y} = 5,20 + 0,8222^{***} x$	0,883	5,20	0,822
LA2	$\hat{y} = 1,42 + 0,7263^{***} x$	0,979	1,42	0,726
LVA1	$\hat{y} = -0,29 + 0,7566^{***} x$	0,992	9,12	0,757
LVA2	$\hat{y} = -0,10 + 0,3272^{***} x$	0,991	2,23	0,327
LVA3	$\hat{y} = -0,12 + 0,2374^{***} x$	0,989	2,21	0,237
LVA4	$\hat{y} = 1,34 + 0,5745^{***} x$	0,996	3,69	0,575
Lh	$\hat{y} = 1,33 + 0,5541^{***} x$	0,998	2,90	0,554
NV	$\hat{y} = 0,17 + 0,1855^{***} x$	0,905	0,17	0,186
PVA1	$\hat{y} = 0,09 + 0,4832^{***} x$	0,989	0,09	0,483
PVA2	$\hat{y} = -0,28 + 0,3705^{***} x$	0,957	1,34	0,371
		Média	2,76	0,485

***. Significativo a 0,1 %.

Como ocorreu com o Zn, o M1 recuperou os maiores teores de Cu e o DTPA os menores em todos os solos (Quadro 15). Os teores de Cu recuperados com o M1 oscilaram entre 1,17 a 10,19 mg/dm³, com o M3 de 2,27 a 7,09 mg/dm³, e com o DTPA de 0,85 a 5,79 mg/dm³. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por, Rodrigues (2009), Santos Neto (2003), Nascimento (2001) e Oliveira (1999), onde o extrator M1 conseguiu recuperar as maiores quantidades de Cu.

A superioridade do M1 em extrair os maiores teores de Cu em relação ao M3 e ao DTPA se deve ao baixo pH do M1, que favorece a remoção do Cu dos sítios de troca e parte daquele complexado ou adsorvido aos óxidos.

Os maiores teores de Cu recuperados pelos extratores ocorreram nos solos que possuem as maiores quantidades iniciais desse micronutriente (Quadro 3). Os menores teores recuperados de Cu com o M1 e o M3 ocorreram no Lh. O DTPA recuperou os menores teores de Cu no LVA3 (Quadro 15). O LVA3 e o Lh apresentaram os maiores teores de MO entre os 12 solos (Quadro 3). Com isso ocorreu ligações estáveis entre o Cu e a MO, aumentando a adsorção de Cu no LVA3 e no Lh, o que dificultou a extração pelos três extratores.

Quadro 15. Teores de Cu disponível pelos extratores Mehlich-1 (*tdCu_M1*), Mehlich-3 (*tdCu_M3*) e DTPA (*tdCu_DTPA*) em função das doses de Cu (mg/dm^3) aplicadas em 12 solos

Solo	Dose de Cu (mg/dm^3)						Média
	0,0	1,5	3,0	6,0	9,0	15,0	
	<i>tdCu_M1</i>						
	----- mg/dm^3 -----						
CX1	3,33	4,35	5,29	7,44	8,04	12,28	6,79
CX2	0,37	1,30	2,68	5,30	8,02	11,69	4,89
LA1	0,77	1,45	2,66	5,62	7,47	8,72	4,45
LA2	0,63	1,49	2,66	5,63	10,48	11,83	5,45
LVA1	0,26	2,28	1,22	5,87	6,86	9,29	4,30
LVA2	1,96	2,69	3,98	5,08	7,70	13,84	5,87
LVA3	0,26	1,01	1,55	3,93	6,15	9,93	3,80
LVA4	3,24	4,08	4,99	6,76	11,31	14,05	7,40
Lh	0,28	0,46	0,58	1,21	1,75	2,74	1,17
NV	3,59	4,30	5,49	7,99	9,78	13,95	7,52
PVA1	6,59	7,91	7,57	10,92	11,80	16,33	10,19
PVA2	1,60	2,34	3,07	5,97	6,17	13,48	5,44
Média	1,90	2,81	3,48	5,98	7,96	11,51	5,61
	<i>tdCu_M3</i>						
	----- mg/dm^3 -----						
CX1	3,70	4,77	5,63	7,22	8,62	11,41	6,89
CX2	0,81	1,54	1,89	3,08	5,62	8,57	3,59
LA1	1,48	2,36	3,85	6,15	7,74	9,56	5,19
LA2	0,70	1,60	2,84	4,03	6,06	6,14	3,56
LVA1	0,50	1,90	1,46	4,94	6,71	10,61	4,35
LVA2	1,90	2,50	3,17	4,27	5,76	10,94	4,76
LVA3	0,63	1,06	1,31	3,48	3,79	6,84	2,85
LVA4	3,40	4,60	5,16	6,79	10,03	12,60	7,09
Lh	0,97	1,36	1,43	2,63	3,13	4,11	2,27
NV	2,10	1,85	2,67	4,86	5,34	4,81	3,60
PVA1	4,41	4,81	4,90	6,35	7,60	9,39	6,24
PVA2	1,24	1,42	2,11	2,87	3,74	5,43	2,80
Média	1,82	2,48	3,04	4,72	6,18	8,37	4,43
	<i>tdCu_DTPA</i>						
	----- mg/dm^3 -----						
CX1	2,82	3,71	4,59	7,10	7,46	10,43	6,02
CX2	0,17	0,38	0,64	0,59	1,29	2,59	0,94
LA1	1,00	1,95	3,22	4,79	9,39	10,70	5,18
LA2	0,34	1,58	2,48	5,16	5,64	9,29	4,08
LVA1	0,27	1,13	1,50	3,62	5,79	9,18	3,58
LVA2	0,67	0,81	1,23	1,83	2,40	4,70	1,94
LVA3	0,20	0,27	0,39	0,77	1,20	2,31	0,86
LVA4	2,21	2,99	4,26	4,85	8,63	11,81	5,79
Lh	0,11	0,57	1,13	1,40	3,48	5,90	2,10
NV	0,39	0,44	0,48	1,24	1,36	1,98	0,98
PVA1	2,84	3,31	3,49	5,46	5,89	8,02	4,84
PVA2	0,29	0,22	0,36	0,97	1,05	2,24	0,85
Média	0,94	1,44	1,98	3,15	4,47	6,60	3,10

O modelo linear apresentou melhor ajuste para todos os solos nos três extratores aos dados dos teores de Cu recuperado em função das doses adicionadas desse micronutriente (Quadro 16).

O DTPA extraiu as menores quantidades de Cu e o M1 as maiores (Quadro 16). O M1 possui um pH mais baixo do que o DTPA. A capacidade de solubilizar compostos que contém o Cu possibilitou ao M1 retirar as maiores quantidades desse micronutriente. Entretanto, esse mecanismo de extração, que é característico do M1, possibilita o acesso a formas de Cu que as plantas não têm durante cultivo. Essa situação é um problema, para o uso desse extrator para fins de análise de solo. Pois, o ideal é que, um extrator recupere uma quantidade de Cu e que esta tenha estreita correlação com o conteúdo desse micronutriente com a planta.

Quando não há aplicação das doses de Cu, o LVA3, o LVA1 e o Lh, foram os solos que apresentaram os menores teores desse micronutriente recuperados pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente (Quadro 16). A menor extração do Cu nesses solos se deve ao fato deles apresentarem altos teores de MO (Quadro 3), que aumenta a adsorção do Cu, que dificulta extração pelos extratores.

O teor de argila e de MO dos solos foram uma das características responsáveis pela grande variação nos níveis críticos de Cu entre os solos e os extratores (Quadro 16). Os menores níveis críticos de Cu foram obtidos com o DTPA e os maiores com o M1 (Quadro 16).

O LA2 e Lh apresentaram os menores de níveis críticos de Cu e o LVA1 os maiores (Quadro 16).

O LA2 e Lh apresentaram níveis críticos de Cu pelo M1 abaixo do valor proposto por Alvarez et al. (1999) (Quadro 16). E os solos, Lh, NV e PVA2 apresentaram pelo DTPA nível crítico de Cu inferior ao valor proposto por Raij et al. (1997).

Os níveis críticos de Cu obtidos com o M1 estão em média 70,2 % acima do nível crítico desse micronutriente proposto por Alvarez et al. (1999) para os solos de Minas Gerais. Pelo DTPA, os níveis críticos de Cu nos 12 solos, estão em média 59,2 % acima do valor proposto para os solos de São Paulo (Raij et al., 1997).

As menores taxas de recuperação de Cu ocorreram com o DTPA e as maiores com o M1 (Quadro 16). O M1 possui maior acidez que os demais extratores. Ele consegue promover o deslocamento de cátions adsorvidos, dissolvendo carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados e provoca a dissolução parcial de argilas silicatadas (Pickering, 1981).

O Lh apresentou a menor taxa de recuperação de Cu pelo M1 e M3, e o NV a menor taxa pelo DTPA (Quadro 16). Esses dois solos possuem uma alta capacidade tampão, e a adsorção de Cu é muito grande.

As taxas de recuperação de Cu pelos extratores M1, M3 e DTPA foram 65,50 %; 44,80 % e 38,30 % do Cu adicionado. Rodrigues et al. (2009) utilizaram seis do Estado de Minas Gerais e encontraram taxas de recuperação de Cu da ordem de 69,00 %, 64,00 % e 61,00 % para os mesmos extratores. Já Santos Neto (2003), aplicou doses crescentes de Cu em solos de Minas Gerais e da Bahia e encontrou taxas de recuperação de Cu de 67,00 %, 61,00 % e 53,00 % pelos extratores M1, M3 e DTPA respectivamente.

Quadro 16. Equações dos teores de Cu recuperado pelos extratores Mehlich-1 ($tdCu_M1$), Mehlich-3 ($tdCu_M3$) e DTPA ($tdCu_DTPA$) (\hat{y} , mg/dm³) em função das doses de Cu (x , mg/dm³) aplicadas em 12 solos, nível crítico de Cu e a taxa de recuperação de Cu por Mehlich-1 ($trCu_M1$), Mehlich-3 ($trCu_M3$) e DTPA ($trCu_DTPA$)

Solo	Equação	R ²	Nível crítico	
M1			mg/dm ³	$trCu_M1$
CX1	$\hat{y} = 3,47 + 0,5776^{***} x$	0,987	3,56	0,578
CX2	$\hat{y} = 0,42 + 0,7781^{***} x$	0,993	6,50	0,778
LA1	$\hat{y} = 1,16 + 0,5714^{***} x$	0,927	1,16	0,571
LA2	$\hat{y} = 0,72 + 0,8241^{***} x$	0,933	0,72	0,824
LVA1	$\hat{y} = 0,76 + 0,6144^{***} x$	0,916	6,49	0,614
LVA2	$\hat{y} = 1,40 + 0,7789^{***} x$	0,975	5,56	0,779
LVA3	$\hat{y} = -0,01 + 0,6637^{***} x$	0,996	4,88	0,664
LVA4	$\hat{y} = 2,99 + 0,7666^{***} x$	0,968	5,35	0,767
Lh	$\hat{y} = 0,19 + 0,1692^{**} x$	0,995	0,55	0,169
NV	$\hat{y} = 3,48 + 0,7022^{***} x$	0,998	3,48	0,702
PVA1	$\hat{y} = 6,48 + 0,6442^{***} x$	0,997	6,48	0,644
PVA2	$\hat{y} = 1,03 + 0,7658^{***} x$	0,953	3,54	0,766
		Média	4,02	0,655
M3				$trCu_M3$
CX1	$\hat{y} = 3,98 + 0,5063^{***} x$	0,996	4,06	0,506
CX2	$\hat{y} = 0,55 + 0,5291^{***} x$	0,985	4,69	0,529
LA1	$\hat{y} = 1,99 + 0,5555^{***} x$	0,953	1,99	0,556
LA2	$\hat{y} = 1,38 + 0,3802^{***} x$	0,872	1,38	0,380
LVA1	$\hat{y} = 0,41 + 0,6862^{***} x$	0,981	6,81	0,686
LVA2	$\hat{y} = 1,39 + 0,5859^{***} x$	0,962	4,52	0,586
LVA3	$\hat{y} = 0,45 + 0,4176^{***} x$	0,976	3,53	0,418
LVA4	$\hat{y} = 3,47 + 0,6301^{***} x$	0,981	5,41	0,630
Lh	$\hat{y} = 1,03 + 0,2166^{***} x$	0,973	1,49	0,217
NV	$\hat{y} = 2,28 + 0,2311^{***} x$	0,674	2,28	0,231
PVA1	$\hat{y} = 4,24 + 0,3481^{***} x$	0,988	4,24	0,348
PVA2	$\hat{y} = 1,16 + 0,2849^{***} x$	0,997	2,10	0,285
		Média	3,54	0,448
DTPA				$trCu_DTPA$
CX1	$\hat{y} = 3,13 + 0,5029^{***} x$	0,972	3,21	0,503
CX2	$\hat{y} = 0,05 + 0,1546^{***} x$	0,934	1,26	0,155
LA1	$\hat{y} = 1,17 + 0,6961^{***} x$	0,956	1,17	0,696
LA2	$\hat{y} = 0,74 + 0,5816^{***} x$	0,978	0,74	0,582
LVA1	$\hat{y} = 0,09 + 0,6082^{***} x$	0,995	5,76	0,608
LVA2	$\hat{y} = 0,42 + 0,2651^{***} x$	0,969	1,84	0,265
LVA3	$\hat{y} = 0,04 + 0,1425^{**} x$	0,975	1,09	0,143
LVA4	$\hat{y} = 2,03 + 0,6545^{***} x$	0,973	4,04	0,655
Lh	$\hat{y} = -0,13 + 0,3879^{***} x$	0,968	0,69	0,388
NV	$\hat{y} = 0,33 + 0,1137^{**} x$	0,953	0,33	0,114
PVA1	$\hat{y} = 2,81 + 0,3531^{***} x$	0,978	2,81	0,353
PVA2	$\hat{y} = 0,08 + 0,1342^{**} x$	0,949	0,52	0,134
		Média	1,96	0,383

***. Significativo a 0,1 %.

3.3. Teores e conteúdo de Fe, Mn, Zn e Cu nas plantas de milho

Normalmente os teores foliares de Fe variam entre 10 e 1 500 mg/kg de matéria seca, os de Mn entre 5 e 1 500 mg/kg de matéria seca, os de Zn variam entre 3 e 150 mg/kg e de Cu variam entre 2 e 20 mg/kg (Dechen e Nachtigall, 2006). As plantas de milho cultivadas nos 12 solos tiveram teores dentro dos limites relacionados pela literatura (Quadro 17).

As plantas cultivadas no PVA1 foram as que apresentaram os menores teores de Fe em suas partes aéreas e os maiores teores nas plantas cultivadas no LVA1 (Quadro 17). O baixo teor de argila presente no LVA1 (Quadro 2), favoreceu o dreno-planta em relação ao dreno-solo, assim, as plantas cultivadas no LVA1, conseguiram acessar facilmente o Fe que se encontrava na solução do solo. O mesmo não se pode dizer para as plantas de milho que foram cultivadas no PVA1, que é um solo de classificação mais argilosa do que o LVA1 (Quadro 2). No caso desses dois solos, o pH parece não ter afetado de imediato a disponibilidade de Fe, visto que, as plantas de milho que apresentaram os maiores de Fe foram aquelas que foram cultivadas no solo que possuiu o maior pH após a incubação com o calcário (Quadro 5).

As plantas de milho que foram cultivadas na dose 0 mg/dm³ de Fe no LVA1 e LVA3, foram as que apresentaram os maiores teores desse micronutriente em suas partes aéreas (Quadro 17). Isso se deve ao efeito de concentração, já que a produção de matéria seca dessas plantas nesses dois solos na dose zero foi uma das menores (Quadro 6).

Os altos teores de argila presentes nos solos CX1 e NV, podem ter afetado a disponibilidade de Fe para as plantas de milho que foram cultivadas nesses solos, uma vez que, os teores de Fe encontrados em suas partes aéreas foram baixos (Quadro 17). No CX1 e no NV o dreno solo possui maior capacidade em adsorver o Fe do que as plantas absorverem esse micronutriente. O pH elevado encontrado após a incubação com o calcário no LA2 (Quadro 5), diminuiu a disponibilidade de Fe para as plantas que foram cultivadas nesse solo, pois, as plantas de milho apresentaram baixos teores de Fe (Quadro 17).

Para o Mn, as plantas de milho que tiveram os menores teores desse micronutriente foram as cultivadas no LVA4, e as plantas com os maiores teores de Mn, foram aquelas cultivadas no PVA1 (Quadro 17). As plantas cultivadas no

Lh, foram as que possuíram os menores teores de Zn e de Cu, já os maiores teores desses micronutrientes foram encontrados nas partes aéreas das plantas cultivadas no LVA2 e PVA1, respectivamente (Quadro 17). A menor disponibilidade tanto de Zn quanto de Cu para as plantas que foram cultivadas no Lh, se deve principalmente aos altos teores de MO e de argila presente neste solo (Quadros 2 e 3). Esta situação, aumentou a adsorção de Zn e de Cu tanto pela MO quanto pela argila, prejudicando a absorção de Zn e Cu pelas plantas de milho (Quadro 17).

Quadro 17. Teores totais de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*ttFe_PA*, *ttMn_PA*, *ttZn_PA* e *ttCu_PA*) (mg/kg) em função dos níveis do Fertilizante Multimicronutriente (*nFMMi*)

Solo	<i>nFMMi</i>						
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	Média
	<i>ttFe_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
CX1	65,15	65,75	67,34	64,47	76,68	67,13	67,75
CX2	211,16	79,25	77,25	85,58	82,66	73,07	101,49
LA1	81,58	71,96	80,11	83,95	79,25	76,24	78,85
LA2	93,01	68,15	90,65	68,70	64,38	78,85	77,29
LVA1	405,74	80,26	92,64	74,69	77,47	78,01	134,80
LVA2	81,18	84,79	78,73	83,10	94,06	73,98	82,64
LVA3	312,93	73,63	75,96	73,79	70,22	72,70	113,20
LVA4	66,18	71,76	71,33	71,57	72,91	65,20	69,83
Lh	120,14	102,25	76,31	97,49	84,46	67,33	91,33
NV	69,56	68,56	72,03	74,25	69,09	77,48	71,83
PVA1	53,02	59,03	87,54	82,84	77,26	77,43	72,85
PVA2	68,59	60,24	68,48	63,60	68,48	64,28	65,61
Média	135,69	73,80	78,20	77,00	76,41	72,64	85,62
	<i>ttMn_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
CX1	86,32	88,54	89,83	87,59	99,65	135,85	97,96
CX2	39,92	120,88	132,79	214,39	247,11	402,62	192,95
LA1	78,87	93,21	105,40	152,48	177,31	334,34	156,94
LA2	47,39	59,35	87,58	98,32	146,02	206,90	107,60
LVA1	211,84	134,06	165,38	205,16	345,41	525,94	264,63
LVA2	68,87	93,01	139,20	214,39	320,59	493,81	221,64
LVA3	44,37	106,15	137,49	168,55	218,10	338,11	168,80
LVA4	77,20	86,46	100,74	89,64	78,62	85,24	86,32
Lh	63,94	73,98	92,26	103,18	111,39	164,29	101,51
NV	105,69	100,69	112,74	123,19	149,28	247,97	139,93
PVA1	290,91	513,93	500,25	533,14	724,01	622,24	530,74
PVA2	111,14	99,18	134,87	155,50	212,48	296,14	168,22
Média	102,21	130,79	149,88	178,79	235,83	321,12	186,44
	<i>ttZn_PA</i>						
	-----mg/kg-----						
CX1	14,13	20,54	27,53	35,11	39,17	59,33	32,64
CX2	8,63	18,69	23,58	36,75	43,82	62,62	32,35
LA1	36,70	41,88	46,45	56,28	52,67	60,01	49,00
LA2	14,91	18,88	27,00	33,70	43,41	57,89	32,63
LVA1	9,96	16,21	29,50	37,78	50,74	81,08	37,54
LVA2	13,68	21,42	29,14	42,28	49,15	65,23	36,82
LVA3	6,85	12,53	20,61	20,15	36,22	45,83	23,70
LVA4	14,53	17,20	22,49	28,46	33,15	45,09	26,82
Lh	13,12	17,11	22,07	27,65	26,03	33,52	23,25
NV	11,74	17,78	26,95	37,00	40,75	64,10	33,05
PVA1	11,88	16,76	28,04	20,12	51,45	66,42	32,45
PVA2	10,86	16,38	25,83	34,41	47,11	42,41	29,50
Média	13,92	19,62	27,43	34,14	42,81	56,96	32,48

Continua...

Quadro 17, continua...

Solo	<i>n</i> FMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	<i>tt</i> Cu_PA						
	-----mg/kg-----						
CX1	6,59	7,22	8,00	8,29	9,54	8,99	8,11
CX2	9,75	9,44	9,83	11,90	11,78	12,31	10,84
LA1	5,76	7,41	9,60	10,76	10,70	14,78	9,84
LA2	3,56	4,80	6,69	7,43	8,23	9,00	6,62
LVA1	8,52	7,73	10,55	9,15	12,75	11,28	10,00
LVA2	8,79	8,69	8,58	10,83	10,57	11,12	9,76
LVA3	7,29	7,05	7,81	8,42	8,27	9,62	8,08
LVA4	6,69	6,95	7,18	7,77	8,27	8,30	7,53
Lh	2,64	3,14	3,82	4,37	4,91	5,11	4,00
NV	9,47	8,35	9,23	10,40	9,92	12,32	9,95
PVA1	12,47	13,45	11,06	10,42	11,21	11,52	11,69
PVA2	6,18	7,90	8,60	8,99	10,71	10,19	8,76
Média	7,31	7,68	8,41	9,06	9,74	10,38	8,76

^{1/}O *n*FMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

Não foi possível ajustar regressões para os teores de Fe na parte aérea das plantas de milho em função das doses adicionadas desse micronutriente em metade dos solos em estudo (Quadro 18). Para os outros micronutrientes, para a grande maioria dos solos, foi possível ajustar as regressões linear, raiz quadrática e quadrática (Quadro 18).

Com os dados obtidos dos níveis críticos foliares de uma determinada cultura, é possível avaliar o seu estado nutricional, auxiliando assim, as recomendações de correção e ou adubação (Leite et al. 2003).

Os níveis críticos foliares de Fe variaram de 44,67 a 96,88 mg/kg. Os de Mn de 46,43 a 292,02 mg/kg. Para os níveis críticos foliares de Zn a variação foi de 11,29 a 51,99 mg/kg e de Cu foi de 3,41 a 12,92 mg/kg. Leite et al. (2003) determinaram os níveis críticos foliares de Mn, Zn e de Cu em plantas de milho cultivadas em um solo arenoso, os valores encontrados foram 27,20 mg/kg de Mn, 34,07 mg/kg de Zn e 1,14 mg/kg de Cu.

Quadro 18. Equações dos teores totais de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*ttFe_PA*, *ttMn_PA*, *ttZn_PA* e *ttCu_PA*) (\hat{y} , mg/kg) em função das doses destes micronutrientes (x , mg/dm³) aplicadas em 12 solos e níveis críticos foliares de Fe, Mn, Zn e Cu (*ncFe_Fl*, *ncMn_Fl*, *ncZn_Fl* e *ncCu_Fl*) (mg/kg)

Solo	Equação		R ²
	<i>ttFe_PA</i>	<i>ncFe_Fl</i>	
			mg/kg
CX1	$\hat{y} = \bar{y} = 67,75$	-	< 67,75
CX2	$\hat{y} = 199,99 - 42,5036^{***} x^{0,5} + 3,3386^{***} x$	0,879	64,74
LA1	$\hat{y} = \bar{y} = 78,85$	-	< 78,85
LA2	$\hat{y} = \bar{y} = 77,29$	-	< 77,29
LVA1	$\hat{y} = 383,07 - 108,8091^{***} x^{0,5} + 8,6737^{***} x$	0,918	47,09
LVA2	$\hat{y} = \bar{y} = 82,64$	-	< 82,64
LVA3	$\hat{y} = 295,90 - 80,6033^{***} x^{0,5} + 6,4649^{***} x$	0,916	44,67
LVA4	$\hat{y} = \bar{y} = 69,83$	-	< 69,83
Lh	$\hat{y} = 117,92 - 6,9308^{\square} x^{0,5} + 0,2012^{**} x$	0,727	96,88
NV	$\hat{y} = \bar{y} = 71,83$	-	< 71,82
PVA1	$\hat{y} = 50,83 + 9,1998^{*} x^{0,5} - 0,6998^{\square} x$	0,684	< 50,83
PVA2	$\hat{y} = \bar{y} = 65,61$	-	< 65,61
	<i>ttMn_PA</i>	<i>ncMn_Fl</i>	mg/kg
CX1	$\hat{y} = 80,04 + 0,9350^{**} x$	0,819	80,53
CX2	$\hat{y} = 64,03 + 6,7264^{***} x$	0,978	239,27
LA1	$\hat{y} = 82,66 + 1,5006^{***} x + 0,0696^{**} x^2$	0,993	82,66
LA2	$\hat{y} = 46,43 + 3,1911^{***} x$	0,986	46,43
LVA1	$\hat{y} = 210,21 - 67,5171^{***} x^{0,5} + 16,0017^{***} x$	0,988	331,14
LVA2	$\hat{y} = 54,98 + 8,6958^{***} x$	0,996	209,90
LVA3	$\hat{y} = 65,06 + 5,4123^{***} x$	0,979	197,95
LVA4	$\hat{y} = \bar{y} = 86,32$	-	< 86,32
Lh	$\hat{y} = 65,43 + 1,8823^{***} x$	0,968	78,75
NV	$\hat{y} = 105,35 - 0,4269^{***} x + 0,0654^{**} x^2$	0,997	105,35
PVA1	$\hat{y} = 292,02 + 99,1102^{***} x^{0,5} - 6,8657^{***} x$	0,842	292,02
PVA2	$\hat{y} = 92,58 + 3,9463^{***} x$	0,970	135,77
	<i>ttZn_PA</i>	<i>ncZn_Fl</i>	mg/kg
CX1	$\hat{y} = 16,28 + 2,1339^{***} x$	0,982	16,73
CX2	$\hat{y} = 10,16 + 3,5291^{***} x - 0,0465^{\circ} x^2$	0,994	51,99
LA1	$\hat{y} = 37,57 + 2,3746^{***} x - 0,0647^{**} x^2$	0,916	37,57
LA2	$\hat{y} = 16,12 + 2,1537^{***} x$	0,990	16,12
LVA1	$\hat{y} = 10,92 + 3,4727^{***} x$	0,991	54,09
LVA2	$\hat{y} = 14,15 + 3,8639^{***} x - 0,0665^{**} x^2$	0,997	45,06
LVA3	$\hat{y} = 8,95 + 1,9241^{***} x$	0,946	27,85
LVA4	$\hat{y} = 15,19 + 1,5179^{***} x$	0,993	21,41
Lh	$\hat{y} = 14,16 + 1,7307^{***} x - 0,0399^{\circ} x^2$	0,930	18,74
NV	$\hat{y} = 13,85 + 2,5056^{***} x$	0,980	13,85
PVA1	$\hat{y} = 11,29 + 2,7601^{***} x$	0,890	11,29
PVA2	$\hat{y} = 9,23 + 4,6881^{***} x - 0,1497^{***} x^2$	0,997	26,89

Continua...

Quadro 18, continua...

Solo	Equação		R ²
	<i>ttCu_PA</i>	<i>ncCu_Fl</i>	
			mg/kg
CX1	$\hat{y} = 6,57 + 0,4864^{**} x - 0,0214^{\circ} x^2$	0,946	6,65
CX2	$\hat{y} = 9,65 + 0,2063^{***} x$	0,789	11,26
LA1	$\hat{y} = 5,83 + 0,2289^{***} x^{0,5} + 1,3162^{\circ} x$	0,951	5,83
LA2	$\hat{y} = 3,81 + 0,8087^{***} x - 0,0313^{\circ} x^2$	0,965	3,81
LVA1	$\hat{y} = 7,93 + 0,6149^{***} x - 0,0250^{\circ} x^2$	0,617	11,49
LVA2	$\hat{y} = 8,69 + 0,1862^{**} x$	0,753	9,69
LVA3	$\hat{y} = 7,17 + 0,1587^{**} x$	0,914	8,34
LVA4	$\hat{y} = 6,86 + 0,1157^{\circ} x$	0,869	7,22
Lh	$\hat{y} = 3,06 + 0,1631^{**} x$	0,857	3,41
NV	$\hat{y} = 8,70 + 0,2162^{***} x$	0,794	8,70
PVA1	$\hat{y} = 12,92 - 0,4863^{ns} x + 0,0266^{\circ} x^2$	0,562	12,92
PVA2	$\hat{y} = 6,49 + 0,7079^{***} x - 0,0307^{**} x^2$	0,935	8,48

^{ns}, [°], ^{*}, ^{**} e ^{***}. Não significativo. Significativo a 15, 10, 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

Os menores conteúdos de Fe ocorrem na parte aérea das plantas cultivadas no LA1 (0,74 mg/vaso), CX2 (0,76 mg/vaso) e no LVA3 (0,77 mg/vaso). O menor acúmulo de Fe pelas plantas de milho cultivadas no LA1, se deve a um efeito tóxico de Fe nessas plantas. Como o LA1 possui o menor teor de argila (Quadro 2), o Fe fica menos retido pelas cargas negativas do solo, assim, a sua disponibilidade é maior, podendo causar efeitos tóxicos, já que o teor inicial de Fe era elevado (Quadro 3). Estes fatores prejudicaram a produção de matéria seca das plantas cultivadas no LA1 (Quadro 6).

Os solos CX2 e LVA3 apresentam alto teor de argila (Quadro 2) foi um obstáculo para que as plantas de milho absorvessem o Fe e o acumulassem em suas partes aéreas, pois a produção de matéria seca nesses dois solos foi baixa (Quadro 6).

Apesar de apresentar alto teor de argila e de MO (Quadros 2 e 3), as plantas cultivadas no Lh apresentaram o maior conteúdo de Fe em suas partes aéreas (Quadro 19). A maior disponibilidade de Fe para as plantas de milho cultivadas nesse solo, se deve ao seu pH (5,35).

O pH encontrado no solo LA2, deve ter sido o motivo principal para que as plantas de milho cultivadas nesse solo apresentassem o menor conteúdo de Mn em suas partes aéreas (1,11 mg/vaso). O maior acúmulo de Mn por parte das plantas de milho cultivadas no PVA1 (6,61 mg/vaso), se deve ao fato desse solo apresentar os maiores teores disponíveis de Mn iniciais (Quadro 3).

As plantas de milho cultivadas no LVA3 foram as que apresentaram os menores conteúdos de Zn em suas partes aéreas (0,23 mg/vaso). O maior conteúdo de Zn foi encontrado nas plantas cultivadas no CX1 (0,64 mg/vaso). Os conteúdos de Cu na parte aérea das plantas de milho dos 12 solos oscilaram entre 0,07 mg/vaso (LA2, LVA3 e Lh) a 0,16 mg/vaso (CX1).

Quadro 19. Conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*cFe_PA*, *cMn_PA*, *cZn_PA* e *cCu_PA*) (mg/vaso) em função dos níveis do Fertilizante Multimicronutriente (*nFMMi*)

Solo	<i>nFMMi</i>						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^I	1,5	2,5	
	<i>cFe_PA</i>						
	-----mg/vaso-----						
CX1	1,24	1,39	1,34	1,31	1,50	1,21	1,33
CX2	0,66	0,75	0,75	0,83	0,87	0,71	0,76
LA1	0,74	0,69	0,75	0,82	0,73	0,72	0,74
LA2	0,96	0,72	0,95	0,73	0,70	0,75	0,80
LVA1	1,28	0,77	0,79	0,79	0,78	0,81	0,87
LVA2	0,93	1,00	0,99	1,00	1,21	0,90	1,00
LVA3	0,92	0,73	0,75	0,76	0,73	0,70	0,77
LVA4	0,91	1,06	1,10	1,06	1,19	1,08	1,07
Lh	2,01	1,90	1,49	1,81	1,66	1,25	1,69
NV	0,87	0,78	0,85	0,91	0,80	0,95	0,86
PVA1	0,65	0,73	0,98	1,12	0,96	0,99	0,90
PVA2	0,73	0,81	0,85	0,81	0,85	0,85	0,82
Média	0,99	0,95	0,97	1,00	1,00	0,91	0,97
	<i>cMn_PA</i>						
	-----mg/vaso-----						
CX1	1,64	1,87	1,79	1,78	1,97	2,46	1,92
CX2	0,12	1,15	1,31	2,07	2,63	3,90	1,86
LA1	0,72	0,89	0,99	1,49	1,63	3,17	1,48
LA2	0,49	0,63	0,91	1,04	1,58	1,98	1,11
LVA1	0,69	1,27	1,42	2,18	3,49	5,44	2,42
LVA2	0,79	1,09	1,76	2,61	4,13	6,00	2,73
LVA3	0,13	1,06	1,37	1,73	2,27	3,24	1,63
LVA4	1,06	1,28	1,55	1,33	1,28	1,41	1,32
Lh	1,05	1,38	1,82	1,91	2,20	3,09	1,91
NV	1,32	1,15	1,33	1,51	1,74	3,05	1,68
PVA1	3,58	6,33	5,60	7,18	9,00	7,96	6,61
PVA2	1,18	1,32	1,67	1,99	2,64	3,91	2,12
Média	1,06	1,62	1,79	2,24	2,88	3,80	2,23
	<i>cZn_PA</i>						
	-----mg/vaso-----						
CX1	0,27	0,43	0,55	0,71	0,77	1,07	0,64
CX2	0,03	0,18	0,23	0,35	0,46	0,61	0,31
LA1	0,33	0,40	0,43	0,55	0,49	0,57	0,46
LA2	0,15	0,20	0,28	0,36	0,47	0,55	0,34
LVA1	0,03	0,16	0,25	0,41	0,51	0,84	0,37
LVA2	0,16	0,25	0,37	0,51	0,63	0,79	0,45
LVA3	0,02	0,12	0,20	0,21	0,38	0,44	0,23
LVA4	0,20	0,25	0,35	0,42	0,54	0,75	0,42
Lh	0,22	0,32	0,43	0,51	0,51	0,63	0,44
NV	0,15	0,20	0,32	0,45	0,47	0,79	0,40
PVA1	0,15	0,21	0,31	0,27	0,64	0,85	0,40
PVA2	0,12	0,22	0,32	0,44	0,59	0,56	0,37
Média	0,15	0,25	0,34	0,43	0,54	0,70	0,40

Continua...

Quadro 19, continua...

Solo	<i>n</i> FMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	<i>c</i> Cu_PA						
	-----mg/vaso-----						
CX1	0,12	0,15	0,16	0,17	0,19	0,16	0,16
CX2	0,03	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,10
LA1	0,05	0,07	0,09	0,11	0,10	0,14	0,09
LA2	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07
LVA1	0,03	0,07	0,09	0,10	0,13	0,12	0,09
LVA2	0,10	0,10	0,11	0,13	0,14	0,14	0,12
LVA3	0,02	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07
LVA4	0,09	0,10	0,11	0,11	0,14	0,14	0,12
Lh	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,10	0,07
NV	0,12	0,10	0,11	0,13	0,12	0,15	0,12
PVA1	0,15	0,17	0,12	0,14	0,14	0,15	0,14
PVA2	0,07	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,11
Média	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,11

^{1/}O *n*FMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

Foram ajustadas equações de regressão do conteúdo de Fe, Mn, Zn e de Cu na parte aérea das plantas de milho em função das doses destes quatro micronutriente nos 12 solos em estudo (Quadro 20). As regressões linear, raiz quadrática e quadrática foram as que melhor se ajustaram aos dados. Sendo que não foi possível o ajuste nas seguintes situações: nos solos LA1, LA2 e NV para o conteúdo de Fe e no PVA1 para o conteúdo de Cu. Também foram calculadas as taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e Cu pelas plantas de milho.

As taxas de recuperação de Fe pelas plantas oscilaram entre 0,0000 a 0,0319, já a de Mn ficaram entre 0,000 a 0,1009, as de Zn variaram entre 0,000 a 0,2436 e as de Cu entre 0,000 a 0,0750 (Quadro 20). Valores parecidos foram encontrados por Reynaga (2017) em mudas de café.

Quadro 20. Equações dos conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (cFe_PA , cMn_PA , cZn_PA e cCu_PA) (\hat{y} , mg/vaso) em função das doses de Fe, Mn, Zn e de Cu (x , mg/dm³) aplicadas em 12 solos e as taxas de recuperação de Fe, Mn, Zn e de Cu pela parte aérea das plantas de milho ($trFe_Pl$, $trMn_Pl$, $trZn_Pl$ e $trCu_Pl$)

Solo	Equação	R ²	
	cFe_PA		$trFe_Pl$
CX1	$\hat{y} = 1,26 + 0,0082^{ns} x - 0,0001^o x^2$	0,504	0,0319
CX2	$\hat{y} = 0,66 + 0,0088^{ns} x - 0,0001^o x^2$	0,929	0,0046
LA1	$\hat{y} = \bar{y} = 0,87$	-	0,0000
LA2	$\hat{y} = \bar{y} = 0,80$	-	0,0000
LVA1	$\hat{y} = 1,25 - 0,1707^{***} x^{0,5} + 0,0141^* x$	0,905	0,0000
LVA2	$\hat{y} = 0,91 + 0,0099^{ns} x - 0,0001^* x^2$	0,618	0,0063
LVA3	$\hat{y} = 0,89 - 0,0497^{\Delta} x^{0,5} + 0,0033^{\Delta} x$	0,835	0,0000
LVA4	$\hat{y} = 0,91 + 0,0675^* x^{0,5} - 0,0052^{\Delta} x$	0,785	0,0115
Lh	$\hat{y} = 1,92 - 0,0076^{***} x$	0,653	0,0000
NV	$\hat{y} = \bar{y} = 0,86$	-	0,0000
PVA1	$\hat{y} = 0,67 + 0,0162^{**} x - 0,0002^{**} x^2$	0,762	0,0000
PVA2	$\hat{y} = \bar{y} = 0,82$	-	0,0051
	cMn_PA		$trMn_Pl$
CX1	$\hat{y} = 1,65 + 0,0141^{**} x$	0,839	0,0331
CX2	$\hat{y} = 0,18 + 0,2734^* x^{0,5} + 0,0347^{***} x$	0,994	0,0906
LA1	$\hat{y} = 0,77 + 0,0153^{***} x + 0,0006^* x^2$	0,985	0,0000
LA2	$\hat{y} = 0,52 + 0,0304^{***} x$	0,971	0,0000
LVA1	$\hat{y} = 0,60 + 0,0949^{***} x$	0,989	0,0920
LVA2	$\hat{y} = 0,67 + 0,1076^{***} x$	0,994	0,1009
LVA3	$\hat{y} = 0,19 + 0,2912^* x^{0,5} + 0,0185^{***} x$	0,991	0,0797
LVA4	$\hat{y} = 1,09 + 0,1319^{\Delta} x^{0,5} - 0,0136^{ns} x$	0,534	0,0305
Lh	$\hat{y} = 1,19 + 0,0373^{***} x$	0,959	0,0571
NV	$\hat{y} = 1,29 - 0,0101^{***} x + 0,0009^{**} x^2$	0,990	0,0000
PVA1	$\hat{y} = 4,00 + 0,2540^{***} x - 0,0035^{***} x^2$	0,869	0,0000
PVA2	$\hat{y} = 1,07 + 0,0546^{***} x$	0,988	0,0445
	cZn_PA		$trZn_Pl$
CX1	$\hat{y} = 0,31 + 0,0534^{***} x - 0,0008^* x^2$	0,979	0,2436
CX2	$\hat{y} = 0,06 + 0,0453^{***} x - 0,0009^* x^2$	0,989	0,0388
LA1	$\hat{y} = 0,35 + 0,0242^{***} x - 0,0007^* x^2$	0,858	0,0000
LA2	$\hat{y} = 0,15 + 0,0337^{***} x - 0,0007^* x^2$	0,993	0,0000
LVA1	$\hat{y} = 0,07 + 0,0385^{***} x$	0,992	0,0417
LVA2	$\hat{y} = 0,16 + 0,0534^{***} x - 0,0011^{**} x^2$	0,999	0,0456
LVA3	$\hat{y} = 0,04 + 0,0337^{***} x - 0,0007^o x^2$	0,946	0,0289
LVA4	$\hat{y} = 0,21 + 0,0270^{***} x$	0,994	0,0294
Lh	$\hat{y} = 0,25 + 0,0384^{***} x - 0,0009^{**} x^2$	0,942	0,0465
NV	$\hat{y} = 0,16 + 0,0307^{***} x$	0,974	0,0000
PVA1	$\hat{y} = 0,13 + 0,0338^{***} x$	0,924	0,0000
PVA2	$\hat{y} = 0,11 + 0,0597^{***} x - 0,0018^{***} x^2$	0,991	0,0495

Continua...

Quadro 20, continua...

Solo	Equação	R ²	
		cCu_PA	trCu_PI
CX1	$\hat{y} = 0,13 + 0,0116^{**} x - 0,0006^{***} x^2$	0,910	0,0750
CX2	$\hat{y} = 0,03 + 0,00540^{***} x^{0,5} - 0,0079^{***} x$	0,991	0,0000
LA1	$\hat{y} = 0,05 + 0,0155^{\circ} x^{0,5} + 0,0015^{***} x$	0,935	0,0000
LA2	$\hat{y} = 0,04 + 0,0097^{***} x - 0,0004^{**} x^2$	0,968	0,0000
LVA1	$\hat{y} = 0,03 - 0,0446^{***} x^{0,5} + 0,0052^{***} x$	0,968	0,0000
LVA2	$\hat{y} = 0,09 + 0,0070^{***} x - 0,0003^{\circ} x^2$	0,944	0,0030
LVA3	$\hat{y} = 0,03 + 0,0413^{***} x^{0,5} - 0,0064^{***} x$	0,973	0,0067
LVA4	$\hat{y} = 0,09 + 0,0030^{***} x$	0,893	0,0102
Lh	$\hat{y} = 0,05 + 0,0082^{***} x - 0,0003^{*} x^2$	0,967	0,0135
NV	$\hat{y} = 0,12 - 0,0207^{*} x^{0,5} + 0,0075^{**} x$	0,824	0,0000
PVA1	$\hat{y} = \bar{y} = 0,14$	-	0,0000
PVA2	$\hat{y} = 0,07 + 0,0297^{**} x^{0,5} - 0,0032^{***} x$	0,951	0,0132

ns, Δ, °, *, ** e ***. Não significativo. Significativo a 25, 10, 5, 1 e 0,1 % respectivamente.

3.4 Coeficientes de correlação linear simples entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e de Cu e os teores destes quatro micronutrientes pelos três extratores

O conteúdo de Fe nas plantas de milho correlacionou se melhor com os teores de Fe recuperados com o DTPA. O conteúdo de Mn na parte aérea das plantas de milho correlacionou se melhor com os teores de Mn recuperados com o M3 e o DTPA. O conteúdo de Zn nas plantas de milho correlacionou se melhor com os teores de Zn extraídos com o M1 e o M3. Os teores de Cu recuperados com os três extratores apresentaram baixa correlação com o conteúdo de Cu na parte aérea das plantas de milho.

Alguns trabalhos realizados indicam que dificilmente é encontrado correlação entre os teores disponíveis de Fe extraídos com o M1 e o M3 com o conteúdo deste micronutriente na planta. É o caso de Mielki et al. (2016) que relatou a ineficiência dos extratores M1 e o M3 em avaliar a disponibilidade de Fe para plantas de milho, já que não foram encontradas correlações entre os teores disponíveis de Fe por estes dois extratores com o conteúdo na planta. Fato semelhante foi observado por Abreu et al. (2004) que cultivando milho e soja, não encontraram correlação entre os teores de Fe com os extratores M1, M3 e DTPA.

Fonseca et al. (2010), utilizou os extratores M1, M3 e DTPA para avaliar a disponibilidade de micronutrientes para a cultura do trigo. Os autores concluíram que as soluções extratoras empregadas neste estudo, o M1, M3 e DTPA, foram

ineficientes para prever a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos para o trigo. Os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelo M3 se correlacionaram melhor com os teores obtidos com o DTPA.

Quadro 21. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de Fe, Mn, Zn e Cu extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre os conteúdos de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas de milho (*cFe_PA*, *cMn_PA*, *cZn_PA* e *cCu_PA*) com as médias das seis doses dos micronutrientes aplicadas em três solos do Estado de Minas Gerais

	<i>cFe_PA</i>	R ²
M1	-0,163 ^{ns}	0,027
M3	0,285 ^o	0,081
DTPA	0,598***	0,358
<hr/>		
	<i>cMn_PA</i>	
M1	0,492***	0,242
M3	0,719***	0,517
DTPA	0,701***	0,491
<hr/>		
	<i>cZn_PA</i>	
M1	0,831***	0,691
M3	0,769***	0,591
DTPA	0,683***	0,466
<hr/>		
	<i>cCu_PA</i>	
M1	0,691***	0,477
M3	0,689***	0,475
DTPA	0,513***	0,263

ns, °, ***. Não Significativo. Significativo a 10 e 0,1 % respectivamente.

Quadro 22. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores disponíveis de Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA nas seis doses dos micronutrientes aplicadas em 12 solos

Fe		
	M3	DTPA
M1	0,349***	0,139°
M3	-	0,717***
Mn		
	M3	DTPA
M1	0,856***	0,890***
M3	-	0,897***
Zn		
	M3	DTPA
M1	0,877***	0,791***
M3	-	0,906***
Cu		
	M3	DTPA
M1	0,809***	0,606***
M3	-	0,822***

° e ***. Significativo a 10 e 0,1 % respectivamente.

4. CONCLUSÕES

A capacidade de extração de Fe e de Mn seguiu a seguinte ordem: M3 > M1 > DTPA. A capacidade de extração de Zn e de Cu seguiu a seguinte ordem: M1 > M3 > DTPA.

As melhores correlações entre os teores de Fe, Mn, Zn e de Cu extraídos pelos diferentes extratores ocorrem entre o M3 e DTPA.

O conteúdo de Fe nas plantas de milho se correlacionou melhor com os teores de Fe obtidos pelo DTPA.

O extrator M3 apresentou potencial para ser utilizado em análises de rotina de micronutrientes, uma vez que indicou boa correlação entre os conteúdos dos micronutrientes com os teores recuperados por ele. Entretanto, existe a necessidade de mais estudos com o Fe.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A., RAIJ, B.V.; ABREU, M.F. PAZ GONZALEZ, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. R. Bras. Ci. Solo. 2004; 28:579-584.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 2000, 25:27-32.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C, GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, 1999. p.43-60.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso decorretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.25-32.
- ASPIAZÚ, I. Extração de Ferro e Manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais e da Bahia. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.
- DECHEN, A.R. e NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S, editor. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006; p.328-354.
- FONSECA, A.F.; CAIRES, E.F.; BARTH, G. Métodos de extração e disponibilidade de micronutrientes para o trigo cultivado em plantio direto com calagem na superfície. R. Sci. Agric. 2010; 67: 60-70.
- LEITE, U.B.; AQUINO, B.F.; ROCHA, R.N.C. SILVA, J. Níveis críticos foliares de boro, cobre, manganês e zinco em milho. R. Biosci. J. 2003; 19: 115-125.
- LOPES, A.S., ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (Org.). Tópicos Especiais em Ciência do Solo. 1 ed. : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000; 1, p.265-298.
- MENEZES, A. A., DIAS, L. E., NEVES, J. C. L., & Silva, J. V. O. Disponibilidade de zinco para milho pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais, na presença e ausência de calagem. R. Bras. Ci. Solo. 2010; 34: 417–424.
- MEHLICH A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant Comm. Soil Sci. Plant Anal. 1984;15:1409-16.
- MIELKI, G.F., NOVAIS, R.F., KER, J.C., VERGÜTZ, L. & CASTRO, G.F. Iron Availability in Tropical Soils and Iron Uptake by Plants. R. Bras. Ci. Solo. 2016; 40: 150–174.

NASCIMENTO, C.W.A.. Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos. [Tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2001

NOVAIS, R.F, NEVES, J.C.L, BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J, GARRIDO, W.E, ARAÚJO, J.D, LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SEA; 1991; p. 189-254.

OLIVEIRA JUNIOR, A. Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro para a cultura da soja na região de Balsas, MA. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2003.

PICKERING, W.F. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. 1981. Crit. Rev. Chem., 12: 233-266.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. Instituto Agrônomo de Campinas -IAC.Campinas. 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REYNAGA, W.H.M. Método Requerimento-Suprimento para determinação de dose e composição do fertilizante multinutriente para crescimento inicial do cafeeiro. [Dissertação]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2017, 44p.

RUIZ, H.A, FERREIRA, G.B. PEREIRA J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. R. Bras. Ci. Solo. 2003;27:389-93.

RODRIGUES, F.A.V.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Disponibilidade de zinco para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. R. Bras. Ci. Solo. 2009; 36:1249-1257.

RODRIGUES, F.A.V. Disponibilidade de cobre e zinco para mudas de eucalipto em solos de cerrado. [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.

RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Comparação de soluções extratoras de ferro e manganês em solos da Amazônia. R. Pesq. Agropec. Bras. 2001; 36:143-149.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; NODA, A.Y.; MARCHETTI, M.E.; DA MATA, J.D.V.; LOURENTE, E.R.P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. R. Acta Scient. 2009; 31:537-545.

SANTOS NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e Minas Gerais. [Dissertação]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003, 51p.

Anexos

Anexo 1. Valores de pH dos solos utilizados no primeiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
LVAd1	5,76	6,01	6,02	5,95	5,63	6,00	5,89
LVAd2	6,23	6,03	5,93	5,71	5,46	5,28	5,77
LVAd3	6,27	6,34	6,23	6,20	6,14	5,95	6,19

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Anexo 2. Acidez potencial dos solos utilizados no primeiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
HAI							
-----cmolc/dm ³ -----							
LVAd1	0,97	1,08	1,14	1,27	1,55	2,05	1,34
LVAd2	2,28	1,93	2,36	2,55	2,72	3,19	2,50
LVAd3	0,60	0,70	0,79	0,97	1,06	1,55	0,94

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Anexo 3. Acidez trocável (Al³) dos solos utilizados no primeiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
Al ³⁺							
-----cmolc/dm ³ -----							
LVAd1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06
LVAd2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09	0,06
LVAd3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Anexo 4. Teores de Ca trocável dos solos utilizados no primeiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
Ca ²⁺							
-----cmolc/dm ³ -----							
LVAd1	1,49	1,69	1,54	1,71	1,70	1,80	1,66
LVAd2	2,44	2,37	2,39	2,26	2,29	2,37	2,35
LVAd3	3,57	3,53	3,52	3,69	3,68	4,02	3,67

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Anexo 5. Teores de Mg trocável dos solos utilizados no primeiro experimento após a realização da calagem

Solo	<i>n</i> FMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	Mg ²⁺						
	-----cmolc/dm ³ -----						
LVAd1	0,28	0,33	0,30	0,38	0,36	0,36	0,34
LVAd2	0,40	0,39	0,41	0,42	0,43	0,41	0,41
LVAd3	0,51	0,54	0,53	0,57	0,62	0,70	0,58

^{1/}O *n*FMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 80,0 mg/dm³ de Fe, 60,0 mg/dm³ de Mn, 20,0 mg/dm³ de Zn e 8,0 mg/dm³ de Cu para todos os três solos.

Anexo 6. Valores de pH dos solos utilizados no segundo experimento após a realização da calagem

Fe	Dose (mg/dm ³)			Solo		
	Mn	Zn	Cu	LVA1	LVA2	LVA3
0,0	30,0	10,0	4,0	5,95	5,85	6,08
20,0	30,0	10,0	4,0	5,97	5,87	6,04
40,0	30,0	10,0	4,0	5,99	5,86	6,08
80,0	30,0	10,0	4,0	5,93	5,85	6,07
120,0	30,0	10,0	4,0	5,96	5,80	6,08
200,0	30,0	10,0	4,0	5,88	5,85	6,07
40,0	0,0	10,0	4,0	5,93	5,87	6,08
40,0	15,0	10,0	4,0	5,95	5,86	6,04
40,0	30,0	10,0	4,0	5,97	5,85	6,08
40,0	60,0	10,0	4,0	5,99	5,80	6,07
40,0	90,0	10,0	4,0	5,93	5,85	6,08
40,0	150,0	10,0	4,0	5,96	5,87	6,07
40,0	30,0	0,0	4,0	5,88	5,86	6,08
40,0	30,0	5,0	4,0	5,93	5,96	6,04
40,0	30,0	10,0	4,0	5,95	5,80	6,08
40,0	30,0	20,0	4,0	5,97	5,85	6,07
40,0	30,0	30,0	4,0	5,99	5,87	6,08
40,0	30,0	50,0	4,0	5,93	5,86	6,07
40,0	30,0	10,0	0,0	5,96	5,85	6,08
40,0	30,0	10,0	2,0	5,88	5,80	6,04
40,0	30,0	10,0	4,0	5,93	5,85	6,08
40,0	30,0	10,0	8,0	5,93	5,83	6,07
40,0	30,0	10,0	12,0	5,96	5,85	6,08
40,0	30,0	10,0	20,0	5,93	5,89	6,07

Anexo 7. Acidez potencial (H+Al) dos solos utilizados no segundo experimento após a realização da calagem

Dose (mg/dm ³)				Solo		
Fe	Mn	Zn	Cu	LVA1	LVA2	LVA3
					H+Al (cmol _c /dm ³)	
0,0	30,0	10,0	4,0	1,15	2,34	0,60
20,0	30,0	10,0	4,0	1,14	2,14	0,70
40,0	30,0	10,0	4,0	1,14	2,44	0,79
80,0	30,0	10,0	4,0	1,15	2,49	0,97
120,0	30,0	10,0	4,0	1,14	2,72	1,06
200,0	30,0	10,0	4,0	1,50	2,44	1,23
40,0	0,0	10,0	4,0	1,10	2,42	0,60
40,0	15,0	10,0	4,0	1,19	2,34	0,70
40,0	30,0	10,0	4,0	1,28	2,14	0,79
40,0	60,0	10,0	4,0	1,35	2,44	0,97
40,0	90,0	10,0	4,0	1,66	2,49	1,06
40,0	150,0	10,0	4,0	2,70	2,75	1,55
40,0	30,0	0,0	4,0	1,15	2,50	0,60
40,0	30,0	5,0	4,0	1,13	2,46	0,70
40,0	30,0	10,0	4,0	1,19	2,35	0,79
40,0	30,0	20,0	4,0	1,15	2,19	0,97
40,0	30,0	30,0	4,0	1,35	2,47	1,06
40,0	30,0	50,0	4,0	1,45	2,49	1,28
40,0	30,0	10,0	0,0	1,14	2,74	0,60
40,0	30,0	10,0	2,0	1,15	2,51	0,70
40,0	30,0	10,0	4,0	1,18	2,34	0,79
40,0	30,0	10,0	8,0	1,14	2,30	0,97
40,0	30,0	10,0	12,0	1,39	2,49	1,06
40,0	30,0	10,0	20,0	1,20	2,49	1,18

Anexo 8. Acidez trocável (Al^{3+}) dos solos utilizados no segundo experimento após a realização da calagem

Dose (mg/dm^3)				Solo		
Fe	Mn	Zn	Cu	LVA1	LVA2	LVA3
					Al^{3+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	
0,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
20,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
80,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
120,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
200,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	0,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	15,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	60,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	90,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	150,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	0,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	5,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	20,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	30,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	50,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	0,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	2,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	4,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	8,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	12,0	0,05	0,05	0,05
40,0	30,0	10,0	20,0	0,05	0,05	0,05

Anexo 9. Teores de Ca trocável dos solos utilizados no segundo experimento após a realização da calagem

Dose (mg/dm ³)				Solo		
Fe	Mn	Zn	Cu	LVA1	LVA2	LVA3
					Ca ²⁺ (cmol/dm ³)	
0,0	30,0	10,0	4,0	1,48	2,40	3,30
20,0	30,0	10,0	4,0	1,38	2,13	3,11
40,0	30,0	10,0	4,0	1,39	2,24	2,20
80,0	30,0	10,0	4,0	1,45	2,29	3,12
120,0	30,0	10,0	4,0	1,51	2,29	3,34
200,0	30,0	10,0	4,0	1,59	2,26	2,21
40,0	0,0	10,0	4,0	1,46	2,20	3,09
40,0	15,0	10,0	4,0	1,40	2,35	3,05
40,0	30,0	10,0	4,0	1,57	2,28	2,16
40,0	60,0	10,0	4,0	1,49	2,25	3,09
40,0	90,0	10,0	4,0	1,60	2,35	2,96
40,0	150,0	10,0	4,0	1,50	2,34	3,18
40,0	30,0	0,0	4,0	1,80	2,39	3,22
40,0	30,0	5,0	4,0	1,58	2,38	3,18
40,0	30,0	10,0	4,0	1,48	2,22	3,25
40,0	30,0	20,0	4,0	1,48	2,27	3,21
40,0	30,0	30,0	4,0	1,49	2,18	3,47
40,0	30,0	50,0	4,0	1,60	2,11	3,18
40,0	30,0	10,0	0,0	1,63	2,35	3,20
40,0	30,0	10,0	2,0	1,53	2,90	3,07
40,0	30,0	10,0	4,0	1,53	2,24	3,09
40,0	30,0	10,0	8,0	1,78	2,59	3,19
40,0	30,0	10,0	12,0	1,70	2,25	3,02
40,0	30,0	10,0	20,0	1,51	2,25	2,92

Anexo 10. Teores de Mg trocável dos solos utilizados no segundo experimento após a realização da calagem

Dose (mg/dm ³)				Solo		
Fe	Mn	Zn	Cu	LVA1	LVA2	LVA3
					Ca ²⁺ (cmol/dm ³)	
0,0	30,0	10,0	4,0	0,28	0,35	0,50
20,0	30,0	10,0	4,0	0,30	0,31	0,51
40,0	30,0	10,0	4,0	0,28	0,35	0,51
80,0	30,0	10,0	4,0	0,29	0,36	0,53
120,0	30,0	10,0	4,0	0,26	0,34	0,52
200,0	30,0	10,0	4,0	0,32	0,34	0,55
40,0	0,0	10,0	4,0	0,27	0,30	0,48
40,0	15,0	10,0	4,0	0,27	0,34	0,54
40,0	30,0	10,0	4,0	0,28	0,35	0,50
40,0	60,0	10,0	4,0	0,29	0,34	0,51
40,0	90,0	10,0	4,0	0,27	0,33	0,52
40,0	150,0	10,0	4,0	0,30	0,36	0,54
40,0	30,0	0,0	4,0	0,28	0,31	0,52
40,0	30,0	5,0	4,0	0,28	0,35	0,50
40,0	30,0	10,0	4,0	0,29	0,35	0,54
40,0	30,0	20,0	4,0	0,28	0,33	0,48
40,0	30,0	30,0	4,0	0,27	0,34	0,54
40,0	30,0	50,0	4,0	0,32	0,33	0,55
40,0	30,0	10,0	0,0	0,28	0,37	0,51
40,0	30,0	10,0	2,0	0,27	0,35	0,49
40,0	30,0	10,0	4,0	0,30	0,34	0,51
40,0	30,0	10,0	8,0	0,32	0,41	0,49
40,0	30,0	10,0	12,0	0,28	0,33	0,51
40,0	30,0	10,0	20,0	0,27	0,34	0,50

Anexo 11. Valores de pH dos solos utilizados no terceiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
CX1	5,25	5,20	5,16	5,20	5,15	5,16	5,19
CX2	6,15	6,10	6,15	6,15	5,92	5,60	6,01
LA1	6,25	6,20	6,25	6,13	6,05	5,93	6,13
LA2	6,07	6,05	6,02	6,00	5,90	5,77	5,97
LVA1	6,80	6,78	6,50	6,55	6,39	6,10	6,52
LVA2	5,80	5,90	5,57	5,72	5,61	5,29	5,65
LVA3	6,00	6,14	6,14	6,01	5,97	5,64	5,98
LVA4	5,70	5,70	5,53	5,64	5,61	5,49	5,61
Lh	5,45	5,45	5,40	5,35	5,30	5,17	5,35
NV	5,80	5,80	5,70	5,57	5,51	5,38	5,63
PVA1	6,20	6,20	6,15	5,96	5,96	5,77	6,04
PVA2	6,00	6,37	6,19	5,93	5,94	5,60	6,00

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

Anexo 12. Acidez potencial (H+Al) dos solos utilizados no terceiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
H+Al							
-----cmolc/dm ³ -----							
CX1	4,31	4,58	4,70	4,44	4,64	4,13	4,47
CX2	1,12	1,14	1,11	1,11	1,25	1,40	1,19
LA1	0,99	0,97	0,92	1,12	1,08	1,20	1,05
LA2	1,66	1,74	1,79	1,79	1,85	1,88	1,78
LVA1	0,80	0,82	0,84	0,91	0,97	1,10	0,91
LVA2	2,24	2,28	2,29	2,44	2,42	2,74	2,40
LVA3	1,64	1,59	1,53	1,72	1,61	1,87	1,66
LVA4	3,21	3,12	3,73	3,23	3,21	3,69	3,37
Lh	15,82	15,77	15,76	15,43	15,68	16,27	15,79
NV	2,20	2,16	2,29	2,45	2,59	2,73	2,40
PVA1	2,16	2,26	2,18	2,29	2,35	2,46	2,28
PVA2	1,38	1,34	1,49	1,57	1,57	1,73	1,52

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

Anexo 13. Acidez trocável (Al^{3+}) dos solos utilizados no terceiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	Al^{3+}						
-----cmolc/dm ³ -----							
CX1	0,18	0,12	0,15	0,06	0,18	0,15	0,14
CX2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
LA1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,06	0,07
LA2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
LVA1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
LVA2	0,06	0,09	0,06	0,06	0,06	0,10	0,07
LVA3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
LVA4	0,06	0,06	0,06	0,12	0,09	0,09	0,08
Lh	0,42	0,39	0,36	0,39	0,40	0,55	0,42
NV	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
PVA1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
PVA2	0,06	0,06	0,12	0,06	0,09	0,10	0,08

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

Anexo 14. Teores de Ca trocável dos solos utilizados no terceiro experimento após a realização da calagem

Solo	nFMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	Ca^{2+}						
-----cmolc/dm ³ -----							
CX1	4,70	4,50	4,55	4,64	4,76	4,55	4,62
CX2	1,54	1,50	1,54	1,52	1,53	1,48	1,52
LA1	3,78	3,65	3,65	3,81	3,84	3,55	3,71
LA2	3,00	2,82	2,65	2,83	2,92	2,78	2,83
LVA1	1,45	1,39	1,41	1,51	1,46	1,43	1,44
LVA2	1,90	1,87	1,87	1,92	1,86	1,83	1,88
LVA3	1,86	1,87	1,89	1,80	1,77	1,79	1,83
LVA4	4,70	4,13	4,13	4,42	4,64	4,40	4,41
Lh	5,35	5,53	5,59	5,70	5,50	5,40	5,51
NV	6,10	6,10	5,78	5,92	5,92	6,06	5,98
PVA1	1,65	1,68	1,67	1,72	1,73	1,70	1,69
PVA2	4,73	4,74	4,77	4,65	4,70	4,80	4,73

^{1/}O nFMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.

Anexo 15. Teores de Mg trocável dos solos utilizados no terceiro experimento após a realização da calagem

Solo	<i>n</i> FMMi						Média
	0	0,25	0,5	1,0 ^{1/}	1,5	2,5	
	Mg ²⁺						
	-----cmolc/dm ³ -----						
CX1	1,25	1,21	1,21	1,23	1,29	1,22	1,24
CX2	0,28	0,26	0,28	0,27	0,29	0,28	0,28
LA1	1,19	1,10	1,15	1,18	1,14	0,99	1,13
LA2	0,44	0,42	0,38	0,43	0,44	0,45	0,43
LVA1	0,25	0,26	0,26	0,30	0,28	0,51	0,31
LVA2	0,31	0,32	0,31	0,32	0,32	0,30	0,31
LVA3	0,30	0,30	0,30	0,32	0,34	0,53	0,35
LVA4	1,18	1,07	1,09	1,11	1,13	1,26	1,14
Lh	1,40	1,51	1,48	1,56	1,49	1,47	1,48
NV	2,64	2,79	2,86	2,73	2,79	2,76	2,76
PVA1	0,35	0,35	0,34	0,35	0,36	0,42	0,36
PVA2	0,89	0,88	0,91	0,87	0,89	0,93	0,90

^{1/}O *n*FMMi 1,00 corresponde as seguintes doses: 32,0 mg/dm³ de Fe, 20,0 mg/dm³ de Mn, 8,0 mg/dm³ de Zn e 6,0 mg/dm³ de Cu para todos os 12 solos.