

GILVAN BARBOSA FERREIRA

**DINÂMICA DAS FRAÇÕES DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS  
E ESGOTAMENTO DE FORMAS DISPONÍVEIS DE BORO, COBRE,  
FERRO, MANGANÊS E ZINCO, EM SOLOS DE MINAS GERAIS**

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  
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F383d  
es-  
2003

Ferreira, Gilvan Barbosa, 1972-  
Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e  
gotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro,  
manganês e zinco, em solos de Minas Gerais / Gilvan  
Barbosa Ferreira – Viçosa: UFV, 2003.  
169p. : il.

Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes  
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Micronutrientes. 2. Solos - Fracionamento químico. 3. Solos - Extratores químicos. 4. Relação solo-planta. 5. Química do solo. 6. Solos - Teor de ferro. 7. Solos - Teor de cobre. 8. Solos - Teor de manganês. 9. Solos - Teor de zinco. 10. Solos - Teor de boro. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.422

CDD 20.ed. 631.422

GILVAN BARBOSA FERREIRA

**DINÂMICA DAS FRAÇÕES DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS  
E ESGOTAMENTO DE FORMAS DISPONÍVEIS DE BORO, COBRE,  
FERRO, MANGANÊS E ZINCO, EM SOLOS DE MINAS GERAIS**

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: 24 de fevereiro de 2003.

---

Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes  
(Conselheiro)

---

Prof. Víctor Hugo Alvarez V.  
(Conselheiro)

---

Prof. Júlio César Lima Neves

---

Dr. Fernando Palha Leite

---

Prof. Renildes Lúcio Ferreira Fontes  
(Orientador)

A minha esposa, **Magna**,  
E a meus filhos, **Miguel e Mateus**,  
heranças que Deus, graciosamente, nos tem dado

## AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo que sou, sei e tenho.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, que me concedeu esta oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro concedido.

Ao professor Renildes Lúcio Ferreira Fontes pela boa acolhida em sua equipe de pesquisa, pela orientação e amizade.

Aos professores Victor Hugo, Júlio César Neves e Maurício Fontes, e ao Dr. Fernando Palha Leite (da CENIBRA) pelas idéias, materiais, sugestões e críticas que enriqueceram este trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pela liberação para que eu concluísse este Doutorado.

Aos colegas Dr. José Wellington, estatístico da Embrapa Algodão, e Dr. Walter E. Pereira, Professor de Estatística do CCA/UFPB, pela ajuda na análise dos dados.

Ao colega, irmão de fé e amigo Fábio Henrique de Oliveira, a sua esposa Elisabete e família pela ajuda emocional e espiritual nos momentos mais difíceis de minha vida em Viçosa.

Aos amigos e colegas Célida, Raunira, Ricardinho, Flávia, Gualter, Ermelinda, Valter, Fernando Cartaxo, Valdinar e Momade, pela amizade, boa convivência e companhia nos estudos e nas pesquisas.

Aos graduandos Valmir, Joaquim, Arlindo e João pela valiosa ajuda na condução dos experimentos e na execução das análises químicas.

Aos laboratoristas Domingos e Itamar, do Departamento de Fitotecnia, e ao Carlinho, Carlos Henrique, Carlos Fonseca, Cláudio, Renato, Dimas, Tiãozinho, Bené, Zélia e demais funcionários do Departamento de Solos, que contribuíram para a boa condução das análises efetuadas.

A meus pais, a meus irmãos e minhas irmãs, que mesmo à distância participaram comigo da emoção e do desafio da realização deste sonho.

A minha esposa, Magna, e a meus filhos, Miguel e Mateus, pelo suporte emocional, pelo tempo de estar em sua companhia generosamente cedido para eu me dedicar à execução deste trabalho.

Aos irmãos da Igreja Assembléia de Deus de Viçosa, onde muito aprendi da virtude da humildade e da obediência a Jesus Cristo. Pelas orações e lágrimas sinceras derramadas diante de Deus em favor de minha vida e de minha família. E pelos momentos de alegria que desfrutamos juntos, seguindo a Cristo. Em especial, seu Darci, dona Madalena, Valdeir e família, que muito me ajudaram e à família do Pr. Getúlio Fagundes.

A todos os professores, funcionários e estudantes do Departamento de Solo, que contribuíram com suas críticas, sugestões, literatura, ensinamentos e práticas do dia-a-dia.

À secretária Nísia Luciano Leão, pela correção do português.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

GILVAN BARBOSA FERREIRA, filho de José Francisco Ferreira e Iraci Barbosa Ferreira, nasceu em 30 de maio de 1972, em Timbaúba, PE.

Cursou o primário em Sapé, PB, e o ginásial em Mamanguape, PB. Em março de 1990, terminou o Curso Técnico em Agropecuária, em Bananeiras-PB.

Em julho de 1995 diplomou-se Engenheiro-Agrônomo pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.

Em fevereiro de 1998 concluiu o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Em março de 1998 iniciou o Doutorado no mesmo Programa de Pós-Graduação.

Em maio de 2002 foi selecionado, por concurso público, e contratado como Pesquisador pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Embrapa Algodão) sediada em Campina Grande, PB, para trabalhar na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Fibras (algodão e sisal) e Oleaginosas (amendoim, gergelim e mamona).

Em fevereiro de 2003 defendeu sua Tese de Doutorado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

É casado com a Dra. Magna Maria Macedo Ferreira e tem dois filhos, Miguel Macedo Ferreira e Mateus Macedo Ferreira.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1. Os micronutrientes no solo e a sustentabilidade da produção florestal .....	03
2.2. Os micronutrientes catiônicos no solo e sua disponibilidade.....	07
2.3. O boro no solo e sua disponibilidade .....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1. Coleta e caracterização química, física e mineralógica dos solos utilizados .....	29
3.2. Fracionamento dos micronutrientes e extração das formas disponíveis .....	30
3.3. Avaliação da disponibilidade das diferentes frações dos micronutrientes e da sua dinâmica no solo .....	33
3.4. Dados obtidos e análise estatística utilizada .....	37

	<b>Página</b>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4.1. Fracionamento de micronutrientes catiônicos nativos.....	39
4.1.1. Frações de Cu, Fe, Mn e Zn .....	39
4.1.2. Correlações das frações de Cu, Fe, Mn e Zn com algumas características do solo .....	53
4.1.3. Correlações das frações de Cu, Fe, Mn e Zn com as formas disponíveis .....	74
4.2. Dinâmica das frações de Cu, Fe, Mn e Zn e sua disponibilidade em resposta à adição de micronutrientes..	79
4.2.1. Distribuições dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas diferentes frações químicas do solo em função dos tratamentos aplicados .....	79
4.2.2. Mudanças na disponibilidade de micronutrientes em solos submetidos a três cultivos sucessivos.....	92
4.2.3. Resposta do milho à adição de micronutrientes em três cultivos sucessivos .....	105
4.3. Relação entre a disponibilidade dos micronutrientes estimada pela extração do disponível e a extração pela planta.....	118
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	132
APÊNDICES .....	145

## RESUMO

FERREIRA, Gilvan Barbosa, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2003. **Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais.** Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Conselheiros: Maurício Paulo Ferreira Fontes e Victor Hugo Alvarez V.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de: i) analisar as frações de Cu, Fe, Mn e Zn em amostras de solos cultivados com eucalipto, em condições naturais e após a aplicação de doses desses nutrientes aos solos; ii) verificar quais delas estão disponíveis para as plantas em algumas classes de solos de Minas Gerais; iii) avaliar o poder de suprimento dos solos (incluindo o B) e iv) estudar a dinâmica de retenção das frações dos micronutrientes catiônicos após sua aplicação. Para tanto, na primeira fase amostras superficiais de 15 solos foram caracterizadas e extraídas as frações dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn: trocável (Tro), matéria orgânica (MO), óxidos de Mn (OxMn), de Fe amorfo (OxFeA) e cristalino (OxFeC) e a fração residual (Res). Os teores disponíveis foram extraídos com Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3. Numa segunda fase, 14 amostras de diferentes solos foram incubadas por 15 dias com as doses isoladas de 0,5, 2,0, 10,0, 5,0 e 5,0 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, com um tratamento sem os micronutrientes citados, e outro com todos eles juntos, sempre na presença dos

demais nutrientes essenciais à planta. Em seguida, as amostras foram cultivadas com milho por três ciclos de crescimento de 30 dias e os micronutrientes analisados na parte aérea das plantas. Os tratamentos constituíram um fatorial de 14 x 7, com 3 repetições em blocos ao acaso. Após cada cultivo, fez-se a extração das formas disponíveis pelos extratores  $\text{CaCl}_2$  5 mmol/L (para B), DTPA e Mehlich-1. Os teores totais tiveram as seguintes distribuições: para Cu: Cu-Tro(0,0%) < Cu-MO(2,4%) < Cu-OxMn(6,1%) < Cu-OxFeA(15,4%) < Cu-OxFeC(15,6%) < Cu-Res(60,4%); para Fe: Fe-Tro(0,00%) < Fe-MO(0,02%) < Fe-OxMn(0,45%) < Fe-OxFeA(5,7%) < Fe-Res(20,2%) < Fe-OxFeC(73,7%); para Mn: Mn-MO(1,6%) < Mn-OxFeA(7,9%) < Mn-Tro(12,7%) < Mn-OxMn(13,4%) < Mn-OxFeC(14,5%) < Mn-Res(49,9%); e para Zn: Zn-Tro(0,5%) < Zn-MO(0,7%) < Zn-OxFeA(2,3%) < Zn-OxMn(3,1%) < Zn-OxFeC(8,4%) < Zn-Res(84,9%). Os micronutrientes variaram sua distribuição no solo em função da textura e das classes de solo utilizadas. Os extratores foram altamente correlacionados entre si nas extrações de Cu, Mn e Zn. As frações Cu-MO, Fe-Tro, Mn-Tro e Zn-Tro explicaram a maior parte da variação dos teores nativos das formas disponíveis. Os micronutrientes aplicados se distribuíram nas frações Cu-MO, Cu-OxMn e Cu-OxFeA; Fe-Tro; Mn-Tro; Zn-Tro, Zn-MO, Zn-OxMn e Zn-Res. Os extratores discriminaram bem os tratamentos usados; apenas o  $\text{CaCl}_2$  5 mmol/L mostrou tendência consistente de esgotamento do B com os cultivos sucessivos e somente o Cu apresentou resposta significativa em produção de matéria seca. Os extratores DTPA e Mehlich-1 se diferenciaram mais fortemente na extração do Fe. Após a aplicação dos micronutrientes, as frações Cu-MO e Cu-OxMn, Mn-Tro e Mn-OxMn, Zn-Tro e Zn-OxMn explicaram a maior parte dos teores disponíveis recuperados por DTPA e Mehlich-1. As plantas de milho extraíram o Cu das frações Cu-OxMn e Cu-MO, o Fe da fração Fe-OxFeA, o Mn das frações Mn-Tro e Mn-OxMn e o Zn da fração Zn-Tro. Os teores disponíveis de Cu, Mn e Zn tiveram um ajuste adequado com conteúdo na planta, ao contrário dos teores de Fe. O DTPA ou Mehlich-1 pode ser usado com igual eficiência apenas na estimativa dos teores disponíveis de Cu, Mn e Zn, nas condições em que esse estudo foi realizado.

## ABSTRACT

FERREIRA, Gilvan Barbosa, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February of 2003. **Dynamics of cationic micronutrient fractions and exhaustion of available forms of boron, copper, iron, manganese and zinc in soils from Minas Gerais State.** Adviser: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Committee Members: Maurício Paulo Ferreira Fontes e Victor Hugo Alvarez V.

The aims of this work were: i) to analyze the fractions of Cu, Fe, Mn and Zn in soil samples from eucalyptus plantations under natural conditions and after addition of these micronutrients to soil, ii) to verify what fractions are available to plants in some classes of Minas Gerais State soils, iii) to evaluate the supplying power of the soils for these micronutrients (including B), and iv) study the dynamics of cations retention after their addition to soils. On the first phase, superficial samples from 15 soils were characterized and extracted for determination of Cu, Fe, Mn and Zn in fractions: exchangeable (Ex), organic matter (OM), Mn oxides (MnOx), amorphous Fe oxides (AmFeOx), crystalline Fe oxide (CFeOx) and residual fraction (Res). Availability of Cu, Fe, Mn and Zn in the soils were determined by using DTPA pH 7.3, Mehlich-1 and Mehlich-3 extractors. On the second phase, 14 samples from different soils were incubated for 15 days after addition of single doses (0.5, 2.0, 10.0, 5.0 and 5.0 mg/dm<sup>3</sup> for B, Cu, Fe, Mn and Zn, respectively in five treatments), addition of one mix of all doses in one treatment and absence of all doses in one treatment. For all seven treatments the remaining essential nutrients were added

jointly with the treatments. Then, the samples were used for growing corn in three sequential growth cycles of 30 days each, with the micronutrients analysed in the plant shoots. The experimental design was a factorial 14 x 7 x 3 (14 soils, 7 treatments, 3 replications) in entirely randomized blocks. After each growth cycle, the available forms of Cu, Fe, Mn and Zn were extracted with DTPA and Mehlich-1 and B extracted with CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L. Distribution of the micronutrients in the fractions was: Cu-Ex(0,0%) < Cu-OM(2,4%) < Cu-MnOx(6,1%) < Cu-AmFeOx(15,4%) < Cu-CFeOx(15,6%) < Cu-Res(60,4%) for Cu; Fe-Ex(0,00%) < Fe-OM(0,02%) < Fe-MnOx(0,45%) < Fe-AmFeOx(5,7%) < Fe-Res(20,2%) < CFeOx(73,7%) for Fe; Mn-OM(1,6%) < Mn-AmFeOx(7,9%) < Mn-Ex(12,7%) < Mn-MnOx(13,4%) < Mn-CFeOx(14,5%) < Mn-Res(49,9%) for Mn; and Zn-Ex(0,5%) < Zn-OM(0,7%) < Zn-AmFeOx(2,3%) < Zn-MnOx(3,1%) < Zn-CFeOx(8,4%) < Zn-Res(84,9%) for Zn. The distribution of micronutrients in the soil was variable due to the soil texture and the different soil classes used. The extractors were highly correlated among themselves for Cu, Mn and Zn. The Cu-OM, Fe-Ex, Mn-Ex and Zn-Ex fractions were responsible for most of the variation in the native contents of the available forms of these micronutrients in the soils. The added micronutrients were distributed in the Cu-OM, Cu-MnOx, Cu-AmFeOx; Fe-Ex; Mn-Ex; Zn-Ex, Zn-OM, Zn-MnOx e Zn-Res fractions. The extractors were able to discriminate the treatments used. Only CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L showed a consistent tendency of exhaustion for B in the soil after the sequential growth cycles. Only Cu showed significant response related to dry matter yield. The extractors DTPA and Mehlich-1 showed strong difference as related to Fe extraction. After addition of the micronutrientes, the Cu-OM, Cu-MnOx, Mn-Ex, Mn-MnOx, Zn-Ex and Zn-MnOx fractions were responsible for most of the available contents recovered by DTPA and Mehlich-1. Corn plants extracted Cu from the Cu-MnOx and Cu-OM fractions; Fe from the Fe-AmFeOx fraction; Mn from the Mn-Ex and Mn-MnOx fractions; and Zn from Zn-Ex fraction. The available contents of Cu, Mn and Zn were well adjusted to contents in the plant, contrary to what happened for Fe. DTPA or Mehlich-1 may be used efficiently only for estimating availability of Cu, Mn e Zn, under the conditions used in this work.

## 1. INTRODUÇÃO

Os micronutrientes encontram-se no solo associados às diversas frações químicas ali presentes. Os teores recuperados por diversos extratores químicos em uso (como Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) e até mesmo as quantidades absorvidas pelas plantas são o resultado de complexas interrelações físico-químicas que se estendem desde as frações mais solúveis (presentes na solução do solo e trocáveis) até as mais recalcitrantes, acessadas apenas por ataques químicos mais fortes como dissolução ácida, quelatação e complexação (frações ligadas aos óxidos de Fe e Mn do solo).

Com o avanço das técnicas analíticas e o surgimento de uma demanda crescente por melhor entendimento do comportamento dos micronutrientes no solo, associados às ocorrências frequentes de sintomas de deficiências desses nutrientes nas lavouras e de respostas positivas à sua aplicação como fertilizantes, tem-se buscado o desenvolvimento de extratores químicos com capacidade de extração simultânea de vários nutrientes, mais simples, preditivos e de baixo custo operacional. Os estudos de fracionamento de micronutrientes têm-se tornado possíveis e contribuído para o alcance desses objetivos.

As diferentes frações químicas dos micronutrientes são extraídas com o uso de reagentes específicos que atacam determinadas fases químicas do solo e liberam os elementos a elas associadas. Apesar da possibilidade de diferentes

fases estarem sendo extraídas simultaneamente em alguns procedimentos e contribuindo com valores variados para o teor final da fração alvo de um reagente específico, tem sido mostrado que os métodos de fracionamento fornecem informações valiosas para o conhecimento dos diferentes compartimentos de reserva de cada nutriente no solo, de sua dinâmica e, principalmente, no estabelecimento de critérios mais seguros para o uso e, ou, descarte no solo, de metais pesados de diversas origens. Além disso, os métodos de fracionamento promovem o conhecimento das especificidades de cada extrator do disponível em acessar os reservatórios de cada micronutriente e permitem a sua comparação com as frações extraídas pelas raízes das plantas.

O conhecimento da reserva total dos micronutrientes no solo e do potencial de suas diferentes frações químicas em fornecer nutrientes para as plantas em curto, médio e longo prazos é indispensável para um manejo sustentável dos solos cultivados. Em especial, quando esses solos são de baixa fertilidade, como os cultivados com florestas que retiram da área grandes quantidades dos micronutrientes disponíveis a cada colheita de troncos.

Considerando-se tais fatores, este trabalho objetivou: i) analisar as diferentes frações de Cu, Fe, Mn e Zn em amostras de solos sob eucalipto, em condições naturais ou após sua aplicação aos solos, e compará-las com os teores disponíveis extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA; ii) verificar quais frações dos micronutrientes em alguns solos de Minas Gerais estão disponíveis para as plantas; iii) avaliar a capacidade do solo em suprir micronutrientes para as plantas, medindo a remoção total dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn durante o ciclo da cultura e procurando associar, quando possível, esta remoção às suas diferentes frações no solo e iv) verificar a dinâmica de retenção das frações dos micronutrientes após sua aplicação ao solo, em função de sua redistribuição.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Os micronutrientes no solo e a sustentabilidade da produção florestal**

Uma das condições essenciais para a manutenção de altas produtividades, de modo sustentável, das florestas plantadas de eucalipto e pinus, é o estado da fertilidade dos solos dos locais onde elas são cultivadas. Quanto mais férteis forem os solos, maior será a probabilidade de se obter produções rentáveis com investimentos pequenos na manutenção da fertilidade do solo em diversos ciclos de cultivo e quanto menos férteis forem, maiores os cuidados e os investimentos necessários para evitar uma abrupta perda da sustentabilidade.

Diversos estudos têm sido feitos no intuito de medir a reserva potencial de macronutrientes disponíveis para as plantas florestais (Santos, 1993; Melo, 1994; Amaral, 1999; Leite, 2001). Entretanto, os estudos envolvendo micronutrientes geralmente se têm detido na análise das formas disponível e total dos solos, enquanto aqueles que envolvem o fracionamento químico das frações de cada micronutriente têm sido raros, apesar do seu potencial em fornecer um conhecimento mais abrangente e seguro das reservas disponíveis no solo a curto, médio e longo prazos. Esta realidade também se repete em outras partes do mundo.

Os estudos das frações dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, sua dinâmica e disponibilidade em solos brasileiros, enfocando aspectos agronômicos

ligados ao manejo da fertilidade do solo, são raros. Com exceção de Oliveira et al. (1999), que trabalharam com diversos solos brasileiros estudando a dinâmica das frações de Zn e sua contribuição para a forma disponível extraída por DTPA pH 7,3, Mehlich-1, Mehlich-3 e HCl 0,1 mol/L, as pesquisas existentes caracterizaram essas frações em condições de toxidez do elemento, considerando-o metal pesado (Mazur, 1997; Gomes et al. , 1997; Egreja Filho, 2000) ou em estudos de adsorção do elemento aplicado e de dessorção das formas lábeis por diferentes extratores (Nascimento, 2001). Entretanto, esses solos são, em sua maioria, pobres nesses micronutrientes (Lopes, 1984; Ferreira et al., 2001) e o seu reservatório potencial nativo de cada fração química não tem sido avaliado.

As diferentes frações dos micronutrientes no solo [(i) solúvel, (ii) adsorvido específica e não especificamente, (iii) ocluso ou ligado em óxidos amorfos de Al, Fe e Mn, (iv) ocluso ou ligado aos óxidos livres de Al e Fe e (v) ocluso em minerais silicatados] e sua disponibilidade para as plantas dão uma idéia da sustentabilidade do ambiente a determinada produção vegetal e, ao mesmo tempo, possibilitam uma visão dinâmica do manejo da fertilização nesses solos. Os extratores convencionais das formas disponíveis dos micronutrientes para as plantas (ex.: água quente para o B e DTPA pH 7,3 para Cu, Fe, Mn e Zn) indicam, de modo generalizado, o reservatório conjunto das frações mais lábeis [frações (i) a (iii)] (Jin et al., 1987; Shuman, 1991; Gomes et al. , 1997; Oliveira et al., 1999), entretanto, tem-se evidências, para B, de que outras frações menos lábeis podem contribuir para a nutrição da planta (Tsadilas et al., 1994) e especula-se que o mesmo pode estar ocorrendo com os demais micronutrientes.

O Brasil é um dos maiores produtores de eucalipto do mundo. Essa produção está estabelecida principalmente em Latossolos e Argissolos, geralmente de baixa fertilidade natural (Haag et al., 1991). Atualmente, o uso de materiais genéticos de alta produtividade e de modernas práticas de manejo tem elevado a produtividade e, conseqüentemente, a quantidade de micronutrientes que é retirada dos sítios de produção a cada corte. Bellote et al. (1980) mostraram que uma população de 1.500 plantas/ha de *Eucalyptus grandis* com sete anos de idade pode

exportar com a madeira (lenho + casca): B – 1,33, Cu – 0,81, Fe – 3,93, Mn – 18,20, Mo – 0,01 e Zn – 0,39 kg/ha a cada ciclo de colheita, assumindo uma produtividade de 355,44 m<sup>3</sup>/ha. Em pesquisa recente, Neves (2000) demonstrou que uma produção de 369,78 m<sup>3</sup>/ha de eucalipto extrai na parte aérea, tronco, manta e total, respectivamente: B – 1,02, 0,79, 0,26 e 1,28, Cu – 0,55, 0,48, 0,09 e 0,64, Fe – 6,39, 5,64, 6,39 e 12,78, Mn – 5,63, 3,49, 5,63 e 11,23, Zn - 1,57, 1,38, 0,31 e 1,88 kg/ha. Assim, considerando-se as características de fertilidade dos solos onde se cultiva eucalipto semelhantes aos solos do Cerrado e com base nos levantamentos feitos por Lopes (1984) e Ferreira et al. (2001) mostrados no quadro 1, percebe-se que a possibilidade de esgotamento do nutriente disponível em poucos ciclos de colheita é uma realidade, pois as quantidades de micronutrientes na forma disponível na camada superficial dos solos são, às vezes, menores que a quantidade exportada em apenas um ciclo de colheita (ex.: para B, os teores médios apontam a existência de 0,46 kg/ha na camada de 0-20 cm; entretanto, os dados acima mostram uma necessidade de até 1,33 kg/ha/colheita). Esse esgotamento será mais lento se a planta estiver utilizando parte das frações menos disponíveis e pouco avaliadas pelos extratores convencionais. É interessante, nesse contexto, observar que é generalizada a aplicação de B em plantações de eucalipto (Barros et al., 1992; Chichorro et al., 1994), sendo uma prática utilizada por quase 100 % das empresas que fazem o seu cultivo no Brasil (Dr. Fernando P. Leite, 2003, informação pessoal). Esta prática aumenta a produção de tronco, melhora a uniformidade do fuste e diminui a morte de ponteiros (Andrade et al., 1995; Silveira et al., 1996); além disso, a preocupação com os demais micronutrientes também é crescente e, neste sentido, Macedo et al. (1996) mostraram que oito espécies de eucalipto introduzido na Baixada Cuiabana tiveram os micronutrientes B, Fe e Zn como os mais limitantes ao seu crescimento. Em revisão recente, Gonçalves & Valeri (2001) mostraram que a cultura do eucalipto no Brasil sofre, de modo geral, sérios problemas de deficiência de B, principalmente na região dos Cerrados, com raras ocorrências de deficiência de Cu e Zn. O sintoma mais comum de deficiência de B é o secamento dos ponteiros, pelo que a adubação boratada é uma prática já estabelecida.

### Quadro 1. Teores de micronutrientes em diversos solos da região do Cerrado

Micronutriente	Nível Crítico (mg/dm <sup>3</sup> )	< Nível Crítico (%)	Teores Medianos (mg/dm <sup>3</sup> )	Amplitude Encontrada (mg/dm <sup>3</sup> )
B	0,2 (água quente)	50	0,23 <sup>(1)</sup>	0,09 – 0,31
Cu	1,0 (Mehlich-I)	70	0,60	0,0 – 9,7
Fe	30,0 (Mehlich-I) <sup>(2)</sup>	38	32,50	3,7 – 74,0
Mn	5,0 (Mehlich-I)	37	7,60	0,6 – 92,2
Zn	1,0 (Mehlich-I)	95	0,60	0,2 – 2,15

Fonte: Lopes (1984) em 518 amostras. <sup>(1)</sup> Ferreira et al. (2001) em 18 amostras de MG e MS. <sup>(2)</sup> Alvarez V. et al. (1999).

São raros, na literatura, os trabalhos que estudam o estado dos micronutrientes nos solos cultivados com florestas, em especial suas formas disponíveis e totais, além de suas frações químicas. Provavelmente, a ausência de métodos apropriados e a falta de resposta à aplicação da maioria dos micronutrientes sejam as razões desse pouco interesse. Entretanto, Singh & Mongia (1993) têm estudado a distribuição dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn nos solos de florestas tropicais na Índia; eles mostraram que as concentrações decresceram com a profundidade, embora elas fossem suficientes para o crescimento das plantas. O pH e os teores de argila e de matéria orgânica controlaram as concentrações totais e disponíveis dos elementos no solo.

Em florestas australianas de eucalipto, mesmo com rotações longas de 80 anos, tem-se demonstrado que existe o risco de perda de sustentabilidade pela colheita e queima dos restos da cultura no campo. As diferentes partes da planta exportam quantidades variadas de nutrientes em cada ciclo. A perda da sustentabilidade pela limitação no solo de B e Ca é superior ao risco oferecido pela limitação dos demais nutrientes, pois as suas quantidades extraídas pelas plantas de eucalipto a cada cultivo representam maiores proporções dos teores trocáveis e extraíveis, quando comparados com os teores dos demais nutrientes (Hopmans et al., 1993). Entretanto, em experimentos com pinus na Nova Zelândia, tem sido mostrado a possibilidade de se manter ou aumentar a sustentabilidade da produção de madeira pela fertilização com B (usando-se ulexita) e que algumas frações de B mais facilmente disponíveis na camada de 0 a 20 cm podem reter o nutriente até um ano após a sua aplicação em áreas de baixa intensidade de chuvas (Olykan et al., 1995).

## 2.2. Os micronutrientes catiônicos no solo e sua disponibilidade

Os nutrientes Cu, Fe, Mn e Zn são elementos químicos com densidade acima de  $5 \text{ kg/dm}^3$  e, por isso, considerados metais pesados. Os três primeiros possuem, como característica, números de oxidação variáveis. O quarto é encontrado sempre como Zn (II) (Chesworth, 1991, Raij, 1991a,b).

Os teores médios totais na crosta terrestre e sua amplitude mais comum nos solos são, respectivamente: Cu – 70 e 2-100, Fe – 50.000 e 10.000-100.000, Mn – 1.000 e 20-3.000 e Zn – 80 e 10-300 mg/kg. Nas rochas ígneas esses micronutrientes são mais abundantes no basalto que no granito. Nas rochas sedimentares, o Cu, o Fe e o Zn alcançam maiores teores no argilito e pouco menos no arenito e no calcário (Raij, 1991a). O calcário, por outro lado, têm maiores teores de Mn que o argilito e o arenito.

O intemperismo dos minerais contendo esses micronutrientes libera os íons  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+(\text{ou } 2+)}$ ,  $\text{Mn}^{2+(3+ \text{ ou } 4+)}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ . O Cu e o Zn são adsorvidos fortemente aos colóides do solo e, em grande proporção, à matéria orgânica (Ferreira & Cruz, 1991; Souza & Ferreira, 1991; Abreu et al., 2001; Camargo et al., 2001). O Mn é rapidamente reduzido sob condição de inundação ( $\text{Eh} < 401 \text{ mV}$ ), ao contrário do Fe, que necessita de forte abaixamento do Eh do meio ( $-185 \text{ mV}$ ), na presença de maiores teores de matéria orgânica e de atividade microbiana, para acelerar esse processo. As formas reduzidas  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  são muito solúveis e podem provocar toxidez nas plantas (Borkert et al., 2001). Todos esses elementos são altamente dependentes do pH, diminuindo sua disponibilidade com o aumento deste (Raij, 1991a,b; Lindsay, 1991).

No Brasil, encontraram-se os seguintes teores totais desses micronutrientes: Cu – 2 a 40 mg/kg em solos formados de sedimentos arenosos e 89 a 335 mg/kg em solos originados de rochas básicas (Valadares, 1975); Fe – 6,3 a 19,5 dag/kg (Ferreira et al., 2001) embora possam ser encontrados teores de 44,36 dag/kg para os Latossolos Vermelhos perférricos (Resende et al., 1988; Oliveira et al., 1992; Amaral, 1999); Mn – 14 a 2.395 mg/kg (Valadares &

Camargo, 1983); e Zn – 1 a 315 mg/kg para diversos tipos de solo do País (Valadares & Catani, 1975; Horowitz & Dantas, 1976; e Lopes, 1984).

Os teores de formas disponíveis de Cu, normalmente encontrados nos solos brasileiros, estão na faixa de <0,1 a 26,5 mg/dm<sup>3</sup>, sendo mais freqüentes entre 0,1 e 10 mg/dm<sup>3</sup>, mesmo que se considere a variação inerente a resultados de diversos extratores (Ferreira & Cruz, 1991). Lopes (1984), entretanto, mostrou que quase 90 % das 518 amostras de solos analisadas do Cerrado tinham menos de 2 mg/dm<sup>3</sup> de Cu.

Os teores de Fe disponível nos solos dos Cerrados brasileiros estão na faixa entre 3,7 a 74 mg/dm<sup>3</sup> (Mehlich-1) (Lopes, 1984). Ferreira et al. (2001) detectaram valores de 4,8 a 45,0 mg/dm<sup>3</sup> (Mehlich-1) em dez diferentes solos do estado de Minas Gerais, porém usando uma relação solo:extrator de 1:2. A deficiência de Fe é pouco comum, exceto quanto se pratica uma supercalagem, os teores dos demais micronutrientes catiônicos são elevados ou se faz uso de altas doses de fósforo em culturas sensíveis (ex.: café). Em condições de alagamento, pode ocorrer toxidez desse elemento nas plantas (Bataglia, 1991).

Para Mn, a amplitude dos teores geralmente encontrados em solos brasileiros varia de 0,6 a 92,2 mg/dm<sup>3</sup>, usando-se o Mehlich-1 (Lopes, 1984). Em solos originados de basalto esses valores podem ser maiores, porém o autor argumenta que 37 % dos solos de cerrado são deficientes neste nutriente (< 5,0 mg/dm<sup>3</sup>). As deficiências são pouco comuns, exceto em solos arenosos naturalmente pobres no elemento ou naqueles que sofreram calagem e adubações pesadas com macronutrientes (Borkert, 1991; Borkert et al., 2001).

Os teores de Zn disponível nos solos de Cerrado geralmente estão na faixa de 0,2 a 2,15 mg/dm<sup>3</sup>, pelo extrator Mehlich-1 (Lopes, 1984). Segundo este autor, 95 % das amostras de solo de Cerrado analisadas são deficientes em Zn (< 1,0 mg/dm<sup>3</sup>). Entretanto, Camargo et al. (1982) encontraram amplitude de 0,3 a 18,2 e 0,5 a 17,9 mg/dm<sup>3</sup> para os extratores DTPA e Mehlich-1, respectivamente, em um conjunto de 24 solos do estado de São Paulo. A deficiência de Zn nos solos do Brasil é uma ocorrência comum e Malavolta et al. (1991) têm mostrado que a freqüência de resposta das culturas temporárias e perenes à sua adição ao solo é a

maior dos micronutrientes, sendo seguida de perto pelo B. Isto justifica a grande concentração de pesquisa sobre esse micronutriente nos solos brasileiros, nos últimos anos (Lopes & Abreu, 2000; Abreu et al., 2001).

Os valores dos mais recentes limites de interpretação propostos para os teores de micronutrientes nos solos do estado de São Paulo, na faixa de suficiência, são: Cu – 0,3 a 0,8, Fe – 5 a 12, Mn – 1,3 a 5,0 e Zn – 0,6 a 1,2 mg/dm<sup>3</sup>, extraídos pelo DTPA 5 mmol/L a pH 7,3 (Raij et al., 1996). Para o estado de Minas Gerais, Alvarez V. et al. (1999) têm propostos os seguintes níveis críticos acima dos quais os solos são classificados como suficientes (bom): Cu – 1,2; Fe – 30; Mn – 8 e Zn – 1,5 mg/dm<sup>3</sup>, extraídos por Mehlich-1. Para os Cerrados brasileiros, Galvão (citado por Lopes & Abreu, 2000) considera altos os valores acima de 0,8, 5 e 1,8 mg/dm<sup>3</sup> de Cu, Mn e Zn, respectivamente, quando extraídos por Mehlich-1. Os valores considerados baixos e médios são: Baixo – Cu:  $\leq 0,4$ , Mn:  $\leq 1,9$  e Zn:  $\leq 1,0$  mg/dm<sup>3</sup>; e Médio – Cu: 0,5-0,8, Mn: 2,0-5,0 e Zn: 1,1-1,6 mg/dm<sup>3</sup>. Esses critérios têm levado a uma melhor racionalização no uso de adubos com micronutrientes nessas regiões, com o uso da filosofia de prescrição, ao invés da filosofia de segurança, usada anteriormente.

As diversas frações, nas quais estão estocados os micronutrientes nos solos, têm sido divididas em (Shuman, 1991): (i) solúvel – é constituída pelos nutrientes presentes na solução do solo. É a fração mais ativa e, portanto, o foco central da química do solo; geralmente, apresenta baixos teores dos mais diversos micronutrientes, sendo maior a concentração dos mais solúveis (ex.: B); (ii) trocável ou adsorvido na superfície – retidos por atração eletrostática ou troca de ligantes, respectivamente, nas superfícies dos colóides alumínio-silicatados, óxidos de Al, Fe e Mn e sólidos orgânicos. Nos métodos de fracionamento dos micronutrientes catiônicos, a fração solúvel está incluída nesta fração por ser ínfima. Os valores reportados na literatura variam de 0,0 a 2,7 % do total para Cu (McLaren & Crawford, 1973a) e de 0,0 a 14,0 % do total para Zn (Iyengar et al., 1981), para o conjunto das frações de adsorção não-específica (também chamada trocável) e específica; (iii) associado com matéria orgânica: incluem as formas

complexadas, solúveis ou não, e alguma parte das frações dos óxidos Al, Fe e Mn e dos sulfitos difíceis de separar: Até 46,9 % do total para Cu (McLaren & Crawford, 1973a) e até 7,4 % para Zn (Iyengar et al., 1981). Essas três frações são as mais facilmente disponíveis para as plantas.

As demais frações têm disponibilidade limitada e constituem o reservatório potencial de nutrientes para as plantas. São elas: (iv) associados a óxidos e carbonatos: os óxidos de Al, Fe e Mn são importantes por serem cobertura, concreções ou partículas discretas de dimensões coloidais e por sua forte afinidade por íons metálicos, sendo os principais fixadores de Cu, Zn e outros metais em solos e sedimentos. Os óxidos de Mn, apesar de presentes em menores quantidades, apresentam fortes reatividades e, portanto, podem ter altas concentrações de metais pesados. Os metais se associam aos óxidos por adsorção, por formação de complexo de superfície, como íon trocável, ou penetrando no látice cristalino e coprecipitando. Zn, Mn e Mo são coprecipitados com óxidos de Fe; Zn e Fe, com óxido de Mn; e Mn e Fe com carbonatos. (iv.a) óxidos de Mn: de 0,5 a 4,5 % do total de Zn (Iyengar et al., 1981). (iv.b) óxidos amorfos. (iv.c) óxidos livres: até 35,9 % do Cu total (McLaren & Crawford, 1973a) e 53,5 % do Zn (Iyengar et al., 1981); (v) residual: a maioria dos micronutrientes metálicos é encontrada na estrutura cristalina dos minerais primários altamente resistentes. Eles estão associados a minerais silicatados em sítios de substituição isomórfica dentro dos minerais primários e secundários. Até 77,2 % do Cu total (McLaren & Crawford, 1973a) e 89,4 % do Zn (Iyengar et al., 1981). Nascimento (2001) encontrou, nesta fração, até 90, 91 e 99 % dos teores totais de Cu, Mn e Zn, respectivamente.

Os reagentes utilizados e os mecanismos de reação mais comuns na extração dos micronutrientes das diversas frações são mostrados no quadro 2, para alguns dos métodos de fracionamento mais utilizados. A seqüência em que as frações são extraídas e os reagentes utilizados é motivo de pesquisas até hoje (Miller et al., 1986; Gomes et al., 1997; Egreja Filho, 2000).

Os teores de micronutrientes nessas frações estão em equilíbrio nas condições naturais impostas pelo ambiente. Entretanto, esse equilíbrio dinâmico

**Quadro 2. Alguns esquemas de extração seqüencial para elementos traços em solos e sedimentos**

Fração	Possíveis formas dos elementos traços	Possíveis mecanismos de extração envolvidos	Extratores	Referências
Solúvel	Íons livres e pares iônicos na solução do solo	Reação de massa	H <sub>2</sub> O KCl KNO <sub>3</sub>	Miller et al. (1986) Jin et al. (1987) Gomes et al. (1997) Egreja Filho (2000)
Não-especificamente adsorvido	Adsorvido por forças coulômbicas sobre as superfícies dos minerais de carga variável	Troca iônica	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CaCl <sub>2</sub> MgCl <sub>2</sub> KCl BaCl <sub>2</sub> KNO <sub>3</sub>	Shuman (1985) McLaren & Crawford (1973a) Jin et al. (1987) Tessier et al. (1979) Chao & Sanzalone (1989) Gomes et al. (1997) Egreja Filho (2000)
Especificamente adsorvido	Adsorvido por ligação covalente sobre as superfícies dos minerais de cargas variáveis	Troca de ligante	HOAc NaOAc KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	McLaren & Crawford (1973a) Tessier et al. (1979) Chao & Sanzalone (1989) Hou et al. (1994, 1996)
(Adsorção fraca) <sup>w1</sup>	Adsorvido em caulinita e óxido de Fe e Al		Manitol/ CaCl <sub>2</sub> NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Jin et al. (1987) Egreja Filho (2000)
Ligado a óxidos	Parte da estrutura dos óxidos de Fe, Al e Mn através de substituição isomórfica	Dissolução ácida, redução e, ou, complexação	NH <sub>2</sub> OH.HCl NH <sub>2</sub> OH.HCl/ HNO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> – Oxalato NH <sub>4</sub> Ox/HOx <sup>Z</sup> NH <sub>4</sub> Ox/HOx NH <sub>2</sub> OH-HCl/ HOAc HCl	Shuman (1985) Jin et al. (1987) Jin et al. (1987) Hou et al. (1994, 1996) Shuman (1985) McLaren & Crawford (1973a) Tessier et al. (1979) Chao & Sanzalone (1989) Gomes et al. (1997)
(Ligado a óxido de Al) <sup>w2</sup> (Ligado a óxido de Fe)	Óxido de Al Nos óxidos de Fe e Mn	Dissolução alcalina Dissolução ácida, redução e complexação	NaOH NH <sub>4</sub> Ox/HOx/ac. asc.	Gomes et al. (1997) Gomes et al. (1997)
(Adsorção forte) <sup>w2</sup> (Oclusão ou MFA) (Ocluído ou MFA)	Nos óxidos de Fe e Al Em óxido de Fe amorfo Em óxido de Al	Dissolução alcalino e complexação	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> /NaF/EDTA NH <sub>2</sub> OH-HCl/HCl NaOH/NaF/EDTA	Egreja Filho (2000) Egreja Filho (2000) Egreja Filho (2000)
(Ocluído ou MFA)	Em óxido de Fe cristalino	Dissolução ácida, redução e complexação	HCl/ác. Asc./ Citrato	Egreja Filho (2000)
Organicamente ligado	Complexado ou quelatado por materiais orgânicos, tais como substâncias húmicas	Dissolução e, ou, oxidação	- NaOCl <sup>V</sup> K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>X</sup> HNO <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> KClO <sub>3</sub> -HCl NaClO NaClO/EDTA	Jin et al. (1987) Shuman (1985) McLaren & Crawford (1973a) Tessier et al. (1979) Hou et al. (1994, 1996) Chao & Sanzalone (1989) Gomes et al. (1997) Egreja Filho (2000)
Residual	Associado às estruturas dos minerais primários e secundários	Dissolução ácida e fusão alcalina  (em microondas)	HF-HNO <sub>3</sub> -HCl HF HF-HClO <sub>4</sub> HF-HNO <sub>3</sub> -HClO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /mufla HNO <sub>3</sub> /HCl/HF	Shuman (1985) Hou et al. (1994) McLaren & Crawford (1973a) Tessier et al. (1979) Chao & Sanzalone (1989) Gomes et al. (1997) Jin et al. (1987) Egreja Filho (2000)

<sup>Z</sup>Ox = Oxalato; <sup>V</sup>Após a fração trocável no esquema original; <sup>X</sup>Após a fração especificamente adsorvida no esquema original; <sup>w1</sup>Antes da fração matéria orgânica; <sup>w2</sup>Após a fração matéria orgânica. MFA – Muito fortemente adsorvido.  
Fonte: Adaptado de Hou et al. (1996).

é rapidamente modificado quando ocorre mudança no sistema, especialmente aquelas ocasionadas com a aplicação de micronutriente ao solo, as mudanças de pH pela calagem (Sims, 1986; Nascimento, 2001), a acidificação natural ou induzida pela planta, a mudança no Eh pelo alagamento (Sims & Patrick, 1978) e a aplicação de matéria orgânica, lodo de esgoto e compostos de resíduos sólidos urbanos (Shuman, 1991; Mazur, 1997).

Em geral, a aplicação de micronutrientes leva a um enriquecimento das frações mais lábeis. Assim, Shuman (1979) encontrou o Mn aplicado na adubação presente nas frações trocável e matéria orgânica. Entretanto, Goldberg & Smith (1984) observaram que a aplicação de  $^{54}\text{Mn}$  marcou todas as frações estudadas, ficando sua maior parte localizada nas frações solúveis e trocáveis, ligado à matéria orgânica e no Mn facilmente reduzível (fração extraída por  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1 mol/L + hidroquinona 2 g/L).

Quando a aplicação do micronutriente ou metal pesado é feita em grandes quantidades, a maior porção se associa aos componentes do solo com os quais tem maior afinidade. Assim, o Cu se associa aos óxidos de Fe e à matéria orgânica (Gomes et al., 1997) e o Zn, às frações trocável e óxido de Mn (Mazur, 1997). Xiang et al. (1995) observaram que os teores de Zn das frações trocável, ligada fracamente à matéria orgânica e, em menor extensão, ao carbonato, aumentaram com a adição de doses crescentes de Zn. Entretanto, com o passar do tempo os teores foram redistribuídos para as frações mais estáveis, como aquela fortemente complexada na matéria orgânica e nos óxidos de Fe cristalino; isto ocorre porque o Cu e o Zn têm fortes afinidades pelos óxidos de Al (Kalbasi et al., 1978), de Fe (Kinniburgh & Jackson, 1982; Pombo & Klamt, 1986; Al-Sewailem et al., 1999) e de Mn (Longanathan et al., 1977). Em valores de pH semelhantes, no entanto, os óxidos de Fe têm maior capacidade de adsorção que os óxidos de Al (Kalbasi et al., 1978; Okazaki et al., 1986). Esta adsorção é rápida, dependente do pH (Kinniburgh, 1983) e do grau de cristalização dos óxidos (Okazaki et al., 1986; Al-Sewailem et al., 1999).

O Cu é o elemento preferencialmente adsorvido, seguido pelo Zn e o Mn, nas superfícies dos óxidos e minerais silicatados de argila dos solos

(Barrow, 1985; Mitchell, 1965, citado por Ferreira & Cruz, 1991) e, também, na formação de complexos com a matéria, com a seguinte ordem decrescente de afinidade:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$  (Stevenson, 1982). MacLarem & Crawford (1973b) mostraram que os óxidos de Mn e a matéria orgânica foram os constituintes do solo de contribuição mais expressiva na alta adsorção máxima de Cu medida (340 a 5.780 mg/kg) vindo, em seguida, os óxidos de Fe e os minerais silicatados da argila. Em geral, dos componentes minerais e orgânicos do solo, a afinidade pelos metais tem a seguinte ordem decrescente: ácido fúlvico > ácido húmico > óxido de Mn > óxidos de Fe e de Al > vermiculita > montemorilonita > illita > caulinita (McLarem et al., 1981; Souza & Ferreira, 1991). Como o tamanho dos raios iônicos desses metais são próximos, pode ocorrer substituição isomórfica nos octaedros dos óxidos de Fe e de Al, assim como nas camadas octaédricas dos argilossilicatos, por difusão iônica para dentro do cristal e a sua fixação definitiva (Souza & Ferreira, 1991). Quanto maior a concentração usada, maior também é a penetração na célula cristalina do mineral associado e, quanto maior o tempo de contato, mais forte a ligação com os componentes mais estáveis (Levesque & Mathur, 1986; Mazur, 1997). O Zn é conhecido amplamente por sua alta concentração nas frações residuais do solo, chegando a constituir até 99% do total encontrado (Xiang et al., 1995).

A propriedade que mais altera os teores de micronutrientes nas frações do solo é o pH, constituindo o fator mais importante no controle da distribuição no solo do Cu, Mn e Zn nativos ou aplicados (Xiang et al., 1995; Nascimento, 2001). Quando o pH aumenta, os teores dos micronutrientes diminuem das frações trocáveis e matéria orgânica e aumentam nas frações óxido de Mn, óxidos de Fe amorfo e cristalino, e residual (McLarem et al., 1983; Shuman, 1991; Nascimento, 2001). Xiang et al. (1995) mostraram que o aumento dos teores das frações óxidos de Fe amorfo, residual e total foi exponencial com o aumento do pH. Nascimento (2001) concluiu que, com a aplicação das doses dos micronutrientes nos solos sem calagem, Cu, Mn e Zn foram retidos principalmente nas frações trocável e matéria orgânica e que, de modo geral, a calagem provocou diminuição nos teores trocáveis e aumento nas frações de

óxidos de Fe e de Mn. Shuman (1986) mostrou que o pH afetou, com maior intensidade, as frações trocável e matéria orgânica de Cu, Fe, Mn e Zn. No geral, os teores de Zn diminuíram na fração trocável e aumentaram na orgânica; os teores de Mn aumentaram na fração orgânica; os teores de Fe diminuíram nas frações trocável e orgânica; e os teores de Cu diminuíram na fração orgânica e aumentaram na fração residual. Esses resultados também são concordantes com os obtidos por Sims (1986). Este pesquisador mostrou que o pH do solo alterou marcadamente a distribuição de Mn e Zn, mas teve pouco efeito sobre a redistribuição do Cu. Em solos com pH abaixo de 5,2, as frações trocáveis de Mn e Zn foram dominantes e em pH acima de 5,2, suas frações matéria orgânica e óxido de Fe predominaram. A maioria do Cu estava na fração orgânica, mas considerável quantidade foi encontrada nos óxidos amorfos de Fe. A baixa redistribuição do Cu está associada à baixa dessorção desse elemento das partículas do solo nas quais ele foi inicialmente adsorvido com alta energia, como mostrado por McLarem et al. (1983).

O alagamento, por outro lado, pode diminuir os teores de micronutrientes associados às frações residuais e óxidos cristalinos de Fe e aumentar as concentrações nas frações trocável e matéria orgânica, assim como nos óxidos amorfos recém precipitados e complexados nos compostos orgânicos solúveis, pelo efeito conjunto da solubilização de parte dos óxidos cristalinos de Fe sob forte condição de redução, do aumento do pH, como discutido anteriormente, e da diminuição do Eh (Sims & Patrick, 1978). Segundo esses autores, quando o Eh diminui, o Fe mobilizado ou solubilizado se associa às frações trocável, orgânica e óxido de Mn; o Mn, com as frações trocável e matéria orgânica; o Zn, com a fração matéria orgânica; e o Cu, com as frações solúvel e matéria orgânica. Também aumenta a complexação dos íons livres na solução do solo pela matéria orgânica, na ordem  $Mn < Fe < Cu < Zn$ . Quando o Eh diminui, em geral o pH tende à neutralidade (Lindsay, 1979) e assim aumenta a complexação dos íons metálicos livres na solução do solo, pelos compostos orgânicos presentes, como foi observado para Cu por Jarvis (1981) e para Cu, Mn e Zn, por Sanders (1982, 1983). Mandal & Mandal (1986) observaram que o Zn aplicado ao solo foi

redistribuído para as frações trocável, complexada na matéria orgânica e óxidos de Fe amorfo e cristalino. O alagamento aumentou o Zn nas frações matéria orgânica e ligada ao óxido de Fe amorfo. A análise de trilha mostrou que o Zn na fração orgânica foi o maior responsável pela nutrição do arroz cultivado sob alagamento do solo.

A adição de matéria orgânica, ou outro composto contendo micronutrientes e metais pesados, pode aumentar as concentrações desses elementos imobilizadas no solo em geral e, em especial, na sua matéria orgânica. Mazur (1997) mostrou que o uso de compostos sólidos de resíduos urbanos, ricos em Cu, aumentou suas concentrações nas frações orgânica e óxido de Mn. Entretanto, a imobilização pode ser revertida com o tempo para frações de maior disponibilidade à planta, dependendo do elemento considerado, e a oxidação da matéria orgânica pode, também, liberar os elementos associados aos óxidos de Fe presentes no solo (Shuman, 1991).

A maior parte dos micronutrientes associados à fase sólida não está disponível para absorção pelas plantas. Na verdade, menos de 10 % geralmente estão nas formas solúveis e trocáveis (Lake et al., 1984). Isto para solos ricos é muito interessante, pois evita toxidez às plantas e ao homem; em solos pobres, pode conduzir a deficiências de micronutrientes. Shuman (1991) mostrou que são disponíveis para as plantas as frações de Zn solúvel, trocável e ligada à matéria orgânica; para o Mn, as frações solúvel em água, trocável, carbonato, Mn facilmente reduzível, ligado à matéria orgânica e aos óxidos de Mn; para o Fe, as frações solúvel, trocável, ligada à matéria orgânica e aos óxidos de Mn e de Fe amorfo são importantes para a planta; e para o Cu, as frações solúvel e trocável são facilmente disponíveis e a fração ligada à matéria orgânica pode estar tão firmemente ligada que se torna indisponível para as plantas. Sims (1986) encontrou que o Zn e o Mn disponíveis para o trigo estavam predominantemente na fração trocável e o Cu, nas frações trocável, matéria orgânica e ligado aos óxidos de Fe amorfo e cristalino, porém com baixa capacidade preditiva. Segundo este autor, as frações trocável e orgânica são as mais importantes na avaliação da disponibilidade dos micronutrientes para as plantas, mas que

mudanças de pH e do teor de matéria orgânica modificam consideravelmente a sua distribuição nos diferentes compartimentos de reserva do solo e, assim, devem ser levados em consideração na definição de um extrator químico apropriado para avaliar a fertilidade do solo. Iyengar et al. (1981), por outro lado, encontraram que as frações de Zn adsorvida e ligada à matéria orgânica foram mais disponíveis que aquelas ocluídas nos óxidos de Mn e Fe; no entanto, precisou incluir as seis frações extraídas e o pH no modelo para explicar 94 % do Zn absorvido por plantas de milho. MacLaren & Crawford (1973a) destacaram a importância para o Cu das frações trocável e ligada à matéria orgânica, porém Jarvis (1981) encontrou resultados inconsistentes com as relações entre o Cu do solo e aquele absorvido por plantas de centeio. Igualmente, Shuman (1979) identificou as frações de Mn trocável e ligada à matéria orgânica como as que mais provavelmente continham a forma disponível para as plantas. Posteriormente, Shuman (1986) mostrou que as frações trocável e matéria orgânica, descontada a influência do pH, são as frações que compõem mais significativamente a forma disponível de Cu, Fe, Mn e Zn do solo.

A quantidade de dado elemento disponível para a planta é, realisticamente, aquela reserva na solução e, principalmente, próxima das partículas do solo potencialmente capaz de se deslocar e ser alcançada e absorvida por suas raízes, durante todo o seu ciclo de vida ou, operacionalmente, aquele teor do nutriente recuperado do solo por dado extrator químico que se correlaciona estreitamente com o conteúdo na planta (Alvarez V., 1996). Muitas vezes, a disponibilidade medida por extratores químicos avalia os teores de frações químicas do nutriente que podem estar ou não disponíveis para as plantas. O disponível para a planta é o nutriente que está na solução ou próximo das partículas do solo em equilíbrio com as formas lábeis. Ele pode ser cedido para as plantas, porém, para ser absorvido por elas, depende das espécies químicas em que o elemento se encontra no solo, da capacidade de absorção da planta, do desenvolvimento do seu sistema radicular, da sua idade, das condições climáticas influenciando a umidade do solo e da disponibilidade de outros nutrientes (Raij, 1991b; Alvarez V., 1996), além da ação dos microrganismos na rizosfera da planta (Barber, 1995; Marschner, 1991, 1995,

1998). Admite-se que, geralmente, a planta absorve os micronutrientes pelas raízes diretamente da solução do solo, se bem que associações micorrízicas sejam comuns, aumentando a superfície de absorção e modificando as características das constantes cinéticas da membrana, como: a concentração mínima para absorção ( $C_{mín}$ ), a velocidade do influxo ou da absorção máxima ( $I_{máx}$ ) e a concentração do íon que permite atingir metade do  $I_{máx}$  ( $K_m$ ). As micorrizas e demais microrganismos presentes na rizosfera podem, também, introduzir compostos orgânicos capazes de acidificar o meio, dissolver precipitados recentes, reduzir o número de oxidação do elemento e quelatá-lo ou complexá-lo em forma solúvel na solução do solo, aumentando sua disponibilidade para a planta (Barber, 1995; Marschner, 1991, 1995, 1998). Este fenômeno é especialmente importante para a absorção dos micronutrientes do solo (Marschner, 1991, 1995, 1998; Ozinga et al., 1997). Neste, os teores na solução, representando o fator intensidade, estão em equilíbrio com uma fração dos micronutrientes da fase sólida, que representa o fator quantidade. A resistência do solo em deixar variar os teores dos micronutrientes em solução, representa a sua capacidade tampão. Os fatores intensidade e quantidade e a capacidade tampão do solo dão uma idéia precisa da capacidade cedente do solo (Alvarez V., 1996). A análise do solo busca avaliar, de forma prática, barata e rápida, essa capacidade cedente do solo.

Os extratores usados para caracterização das formas disponíveis dos micronutrientes nos solos podem ser classificados, a grosso modo, como água, soluções salinas, soluções de ácidos, soluções complexantes e soluções mistas (Raj & Bataglia, 1991). Dada a sua alta constante dielétrica, a ação extratora da água é feita por hidratação, solubilização simples e reação de massa, caracterizando a fração solúvel e parte da trocável dos micronutrientes catiônicos (Shuman & Anderson, 1974) e de B (Jin et al., 1987; Tsadilas et al., 1994; e Hou et al., 1994, 1996). Já as soluções salinas têm um íon com maior preferência de troca que aquele(s) que se pretende extrair e, assim, caracteriza as frações solúvel e trocável (Shuman & Anderson, 1974).

As soluções de ácidos fortes diluídos agem por solubilização, dissolução ácida e troca iônica, extraíndo as frações solúvel, trocável, parte da

especificamente ligada aos óxidos de Al, Fe e Mn e parte da complexada pela matéria orgânica (é possível que formas não lábeis sejam também extraídas) (Raij & Bataglia, 1991). As soluções de HCl 0,1 mol/L, Mehlich-1 (HCl 0,05 mol/L + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L) e Mehlich-3 (CH<sub>3</sub>COOH 0,2 mol/L + NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0,25 mol/L + NH<sub>4</sub>F 0,015 mol/L + HNO<sub>3</sub> 0,013 mol/L + EDTA 0,001 mol/L) têm pH 1,0, 1,2 e 2,5, respectivamente.

As soluções complexantes e, ou, quelatantes agem na redução da atividade do íon na solução do solo por um excesso de reagente, levando toda ou a maior parte da fração lábil em equilíbrio com aquele íon para a forma de complexo ou quelato solúvel (Lindsay & Norvell, 1978; Lindsay, 1979). O DTPA-TEA-CaCl<sub>2</sub> pH 7,3 (ácido dietilenotriaminopentacético 0,005 mol/L + trietanolamina 0,1 mol/L + CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol/L, tamponado a pH 7,3) é o reagente mais amplamente usado na extração do Cu, Fe, Mn e Zn, tendo capacidade para extrair mais do que 10 vezes a massa molar de cada elemento em conjunto (Lindsay & Norvell, 1978). Como visto, a maior parte dos extratores se compõe de soluções mistas de complexantes, ácidos e sais orgânicos e inorgânicos, em concentrações variadas, com possibilidade de agentes redutores poderem ser incluídos na solução extratora (ex.: NH<sub>4</sub>OAc 1 mol/L pH 7 + 2 g/L de hidroquinona, para extrair o Mn facilmente reduzível).

Sims & Johnson (1991) fizeram extenso levantamento bibliográfico a respeito dos diversos extratores usados como índices de disponibilidade para os diversos micronutrientes. Os autores concluíram que: para Cu, os mais consistentes resultados na predição da resposta da planta ocorreram com os índices baseados nos extratores EDTA e DTPA, cujos teores críticos têm sido estabelecidos entre 0,3 e 0,6 mg/dm<sup>3</sup>; os autores especulam que a inclusão dos teores de matéria orgânica pode melhorar a capacidade de predição para solos responsivos a este nutriente; para Fe, os extratores DTPA e AB-DTPA (bicarbonato de amônio-DTPA) têm sido indicados com teores críticos similares (4,5-5,0 mg/dm<sup>3</sup>) necessitando, porém, de maior ampliação da base de dados para obtenção de uma estimativa de nível crítico mais confiável e abrangente para diversas condições de solo, clima, manejo e culturas; para Mn, indica-se a

incorporação na análise do solo do pH, além de um índice de disponibilidade entre qualquer um dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA e AB-DTPA; e, para o Zn, o DTPA é o mais indicado, com os teores críticos entre 0,3 e 1,4 mg/dm<sup>3</sup>. Para melhorar a predição, pode-se lançar mão do extrator, do pH, dos teores de P do solo, da CTC e dos teores de argila.

Em geral, tem sido consensual no Brasil o uso da água quente para a extração do B, sendo esta solução extratora já calibrada para interpretação das análises para o RS e SC (CFS-RS/SC, 1994), para SP (Raij et al., 1996) e, mais recentemente, para MG (Alvarez V. et al., 1999) e para a Região dos Cerrados (Lopes & Abreu, 2000). Os Extratores catiônicos mais indicados têm sido o HCl 0,1 mol/L para SC e RS (CFS-RS/SC, 1994), o DTPA pH 7,3 para SP (Raij et al., 1996), o Mehlich-1 para MG (Alvarez V. et al., 1999) e o Cerrado (Lopes & Abreu, 2000). Menezes (1998) e Oliveira et al. (1999) têm mostrado que o DTPA pH 7,3 é mais sensível a mudança na disponibilidade dos micronutrientes pela calagem que o Mehlich-1, o Mehlich-3 e o HCl 0,1 mol/L, comprovando os dados de Shuman (1986) e Bataglia & Raij (1994). Entretanto, existem motivos de praticidade, custo e de uso já estabelecido, que justificam a adoção de outros extratores em condições brasileiras. Lopes & Abreu (2000), entretanto, são de opinião de que os extratores multi-elementos devem ser priorizados em pesquisas futuras para acompanhar os avanços recentes nas técnicas de dosagem. Neste caso, extratores como AB-DTPA, Mehlich-3, resina de troca iônica e cloreto de cálcio, devem ser enfatizados.

Shuman (1986) mostrou que, para ser sensível às mudanças de pH e refletir a disponibilidade para a planta, um extrator deve, provavelmente, extrair parte ou toda a fração trocável, mas para Mn e Zn ele não deve extrair a fração orgânica. Ele encontrou que o Mehlich-1 e o DTPA pH 7,3 foram estreitamente correlacionado com as frações trocável e matéria orgânica, porém o DTPA foi mais sensível ao efeito da calagem sobre os micronutrientes nas diferentes frações e esteve correlacionado com as diferentes frações de modo semelhante às correlações obtidas pelas plantas. Este extrator se correlacionou bem com os teores de Fe e Zn extraídos pela planta. O autor argumenta que um extrator

fortemente ácido deixado em contato com o solo, agitando-o por longo período de tempo, pode remover uma porção da fração ligada aos óxidos. Esta remoção é inconveniente, pois não foi encontrada nenhuma mudança nos teores dos micronutrientes ligados aos óxidos de Fe e Mn em sua pesquisa. Dados semelhantes foram obtidos por Menezes (1998). A solução de Mehlich-1, filtrada imediatamente após a extração, foi mais sensível ao efeito da calagem e extraiu menos Zn que quando foi deixada descansando por 16 h.

A maior parte dos extratores químicos usados é sensível à mudança no pH do solo sobre os teores dos micronutrientes extraídos. Lantmann & Meurer (1982) testaram com sucesso os extratores HCl 0,1 mol/L, Mehlich-1 e Na<sub>2</sub>EDTA 0,1 mol/L a pH 6,0 para a previsão dos teores de Zn nos solos do Rio Grande do Sul, cultivados com milho. Todos os extratores foram sensíveis à mudança de pH induzida pela calagem e tiveram coeficientes de correlação significativos (>0,75). Entretanto, o Na<sub>2</sub>EDTA mostrou-se mais viável para avaliar o Zn disponível nos solos estudados. Haq & Miller (1972) compararam os extratores EDTA, DTPA, EDDHA e Mehlich-1 para a predição de Cu, Mn e Zn disponível; eles mostraram que o DTPA e o EDTA foram os melhores extratores para a previsão do Zn disponível, mas que eles devem ter seu uso associados aos valores de pH do solo, quando seu valor for menor que 7,0, para uma predição satisfatória. Eles concluíram, também, que os extratores estudados não foram recomendáveis para a previsão de Cu e Mn disponíveis para o milho. Shuman & Anderson (1974) testaram seis extratores (água, NH<sub>4</sub>OAc 1 mol/L pH 7,0, Mehlich-1, DTPA pH 7,3, EDDHA, NH<sub>4</sub>OAc 1 mol/L pH 7,0 em 2 g/L de hidroquinona) para previsão de Mn no solo para as culturas do trigo e da soja, em diferentes valores de pH do solo e concluíram que os extratores água, NH<sub>4</sub>OAc 1 mol/L pH 7,0 e DTPA pH 7,3 tiveram correlações consistentes entre o Mn extraído do solo e o conteúdo na planta de trigo entre os valores de pH do solo de 4,8 a 6,8, mostrando a importância das frações solúvel e trocável para essa cultura. Para a soja, entretanto, a extração com água apresentou maior correlação em solos com pH 4,8 e o Mehlich-1 e o DTPA, nos solos com valores de pH de 5,2 e 6,8. Considerando-se ambas as

culturas, o DTPA teve o melhor desempenho nos solos com valores de pH 5,2 e 6,8 e a água, no solo com pH 4,8, levando-se em conta a correlação entre os teores disponíveis extraídos e os conteúdos nas plantas. Esses dados são consistentes com as recomendações de Lindsay & Norvell (1978), que desenvolveram o DTPA pH 7,3 para uso em solos calcários na previsão de Cu, Fe, Mn e Zn em condições de deficiência. Eles mostraram os resultados de dez anos de uso desse extrator nos EUA e recomendaram o uso dos valores de pH dos solos, em regressão múltipla, para melhorar a previsibilidade do método quando ele for usado para solos ácidos.

Menezes (1998) mostrou que os extratores DTPA e Mehlich-3 (M3) têm maior sensibilidade à variação no pH que o Mehlich-1 com solução filtrada logo após a extração (M1-f) ou com o uso do sobrenadante em decantação por 16 h (M1-s) na previsão dos teores de Zn para o milho, em solos de Minas Gerais. A sensibilidade foi crescente na ordem: M1-s < M1-f < M3 < DTPA. Apesar disso, a pesquisa mostrou ser viável o uso de qualquer um desses extratores para Zn em cultivo de milho. Oliveira et al. (1999) têm mostrado que os extratores DTPA e Mehlich-3 foram os mais sensíveis às características dos solos relacionadas com a capacidade tampão ou fator capacidade de Zn no solo. Eles mostraram, ainda, que as diferentes frações de Zn do solo explicaram de 68 a 96 % da variação dos teores extraídos pelos extratores usados. O HCl 0,1 mol/L, o Mehlich-1, o Mehlich-3 e o DTPA extraíram o Zn principalmente da fração trocável, a qual explicou 53, 54, 73 e 51 %, respectivamente, da variação dos teores extraídos na dose zero e 87, 68, 96 e 88 %, respectivamente, após a aplicação de 20 mg/dm<sup>3</sup>. As demais frações explicaram percentuais variados e menores que a fração trocável: na menor dose, a fração Fe amorfo foi mais explicativa para o HCl e o Mehlich-1, e a fração Fe cristalino, para o DTPA e o Mehlich-3; para a maior dose, a fração matéria orgânica foi mais explicativa para o DTPA, os óxidos de Fe amorfo, para o Mehlich-3 e os óxidos de Fe cristalinos, para os demais extratores.

O extrator ideal é aquele que extrai as formas disponíveis para as plantas em solos com diferentes propriedades, que apresenta adequação aos laboratórios de rotina e se correlaciona bem com a resposta das culturas à presença dos teores

naturais dos nutrientes no solo e à sua aplicação em várias condições de ambiente e manejo (Bray, 1948). Ele ainda não existe. Os mais promissores devem continuar sendo estudados.

Uma caracterização mais ampla dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3, para Cu, Fe, Mn e Zn, é necessária para tornar seu uso mais preditivo e confiável nas condições dos solos brasileiros.

### **2.3. O boro no solo e sua disponibilidade**

O boro (B) é um semimetal muito leve (10,81 g/mol) e de raio iônico muito pequeno (0,23 Å). Seu número atômico é 5 e sua configuração eletrônica é  $1s^2 2s^2 2p^1$ . Sempre trivalente, não forma o cátion  $B^{3+}$  e ocorre em solução sempre coordenado por três hidroxilas, em fortes ligações covalentes. Em solução, forma um ácido muito fraco, com dissociação parcial nos valores de pH 9,14 ( $pK_1$ ), 13,74 ( $pK_2$ ) e 13,80 ( $pK_3$ ). Suas formas dissolvidas mais importantes são o  $B(OH)_3^0$ , a mais freqüente, e o  $B(OH)_4^-$  (Raij, 1991a), as quais têm alta mobilidade no solo. Em altas concentrações, na presença de um ambiente alcalino, o B tende a se polimerizar e formar tetra e pentaboratos hidratados com o sódio.

A ocorrência e a distribuição do B no solo é extremamente dependente dos fatores de formação deste, assim como do manejo dado ao solo sob cultivo (Ribeiro, 1974; Gupta, 1979; Mahler et al., 1985; Dantas, 1991). Ele é encontrado nas rochas ígneas variando em teores de 5 mg/kg no basalto a 15 mg/kg no granito e acumulado residualmente nas rochas sedimentares, variando em teores de 20 mg/kg nas rochas calcárias, 35 mg/kg no arenito a 100 mg/kg no argilito (Harmsen & Vlek, 1985, citados por Raij, 1991a). Sua acumulação residual nessas rochas ocorre por causa do baixo intemperismo de minerais resistentes que o contêm (como a turmalina) (Chesworth, 1991), devido às constantes entradas desse elemento pelos vapores emitidos no ar pelos vulcões e pela água da chuva, a qual pode conter até 0,02 mg/L de B (Muto, 1955, citado por Brasil Sobrinho, 1965). A forma química mais encontrada nos solos é o ácido

fraco  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Apenas em solos com pH acima de 9,14, a forma  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  passa a ser predominante (Raij, 1991a).

Os teores total e disponível no solo variam grandemente. Srivastava & Gupta (1996) mostraram que nos solos agrícolas variam de 1 a 467 mg/kg de teor total, com os teores médios na faixa de 9 a 85 mg/kg sendo mais freqüentes, porém Jackson (1976) admite que nos solos de regiões úmidas com texturas argilosas esses teores podem variar entre 30 a 60 mg/kg e, nos arenosos, mais comumente entre 2 a 6 mg/kg. No Brasil, nos horizontes superficiais dos solos da região sudeste (SP e MG, em especial) os teores de B total variaram de 9,8 a 54 mg/kg (Brasil Sobrinho, 1965; Casagrande, 1978; Santos et al., 1980; e Vanderley, 1984).

Os teores de B disponível extraídos com água quente têm variado, nos solos brasileiros, de 0,06 a 4,34 mg/dm<sup>3</sup>, sendo mais comumente encontrados valores abaixo de 0,6 mg/dm<sup>3</sup> (Dantas, 1991). De fato, teores menores que 0,1, entre 0,1 e 0,3 e acima de 0,3 mg/dm<sup>3</sup> são considerados baixos, médios e altos, respectivamente, para os solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CFS – RS/SC, 1994); já para os solos de São Paulo, tem-se proposto os limites de menos que 0,2 mg/dm<sup>3</sup> como teores considerados baixos, entre 0,2 e 0,6 mg/dm<sup>3</sup>, médios e, acima de 0,6 mg/dm<sup>3</sup>, altos (Raij et al., 1996). Para os solos de Minas Gerais, Alvarez V. (1999) propôs os seguintes limites de interpretação: ≤ 0,15 (muito baixo), 0,16-35 (baixo), 0,36-0,60 (médio), 0,61-0,90 (bom) e > 0,90 mg/dm<sup>3</sup> (alto). Para os solos da Região dos Cerrados brasileiros, Galvão (dados publicados por Lopes & Abreu, 2000) tem sugerido os limites de 0,0-0,2, 0,3-0,5 e > 0,5 mg/dm<sup>3</sup> para as classes de interpretação baixa, média e alta. Em todos os casos, o extrator de referência é a água quente. Esses limites são bastante empíricos e é provável que o teor de B no solo considerado adequado para uma cultura exigente neste nutriente (Ex.: o girassol e o algodão) já esteja na faixa de toxidez para outra considerada sensível ou pouco exigente.

Não obstante a água do mar ter alta concentração de B (4,4 mg/L), devido à facilidade com que é lixiviado das rochas, sedimentos e solos, à medida que eles vão sendo intemperizados, as espécies químicas desse elemento ( $\text{B}(\text{OH})_3^0$  e

$B(OH)_4^-$ ) têm boa afinidade pelos principais componentes da fração argila dos solos, sendo adsorvidas pelos minerais de argila silicatados e, sobretudo, pelos óxidos de Fe e Al (Sims & Bingham, 1967, 1968a,b; Goldberg & Glaubig, 1985). A matéria orgânica do solo tem baixa afinidade em adsorver o B em condições ácidas, tendo Evans (1987) mostrado que sua afinidade em complexar o B se dá apenas em pH do solo superior a 7,0, pelos grupos cis-1,2 ou 1,3 diol dos carboidratos. No entanto, a absorção e incorporação do B pela planta e a posterior transformação desta na matéria orgânica do solo são de suma importância para as diversas culturas, perfazendo esta fração de 4,4 a 8,6 % do B total dos solos (Hou et al., 1994), a qual é liberada por ocasião de sua mineralização.

Apesar da adsorção do B às diversas frações mineralógicas do solo ser muito temporária em termos geológicos, principalmente em regiões úmidas por causa de sua alta mobilidade, tem-se mostrado que os óxidos de Fe nos locais de sedimentação de materiais clásticos são os principais adsorvedores do B do ambiente (Li, 1981, citado por Chesworth, 1991).

Por outro lado, Jin et al. (1987) têm mostrado que os óxidos dos elementos preferencialmente transferidos para sedimentos clásticos (como Al, Fe e Mn) têm relativamente alta capacidade de ocluir o B do solo. Esses pesquisadores encontraram 0,23 a 1,52 % do B total do solo ocluído em óxidos de Mn; 2,8 a 34,4 % ocluídos em óxidos amorfos de Fe e Al (extraídos com  $NH_4$ -Oxalato a pH 3,25, no escuro); e 17,5 a 73,9 % ocluídos em óxidos cristalinos de Fe (extraídos com  $NH_4$ -Oxalato a pH 3,25, sob luz ultravioleta). Nesta pesquisa, eles também mostraram que 2,4 a 79,2 % do B total dos solos estudados estavam ocluídos em minerais silicatados, sendo que os dois solos caulíníticos analisados tinham de 0,31 a 0,84  $mg/dm^3$  de B disponível (extrator água quente) e ocluíram 68,9 a 79,2% do total de B (64,3 a 96,2  $mg/dm^3$ ) na fração residual.

Numa primeira aproximação, esses pesquisadores consideraram as frações do B solúvel em água e extraível com  $CaCl_2$  0,02 mol/L (B adsorvido não especificamente) como componentes do fator intensidade (I) do poder de suprimento total de B do solo, devido ao fato de serem facilmente disponíveis para as plantas; já as frações do B extraíveis com manitol 0,01 mol/L em  $CaCl_2$

0,02 mol/L (B especificamente adsorvido e, ou, ligado à matéria orgânica) e com  $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$  0,1 mol/L em  $\text{HNO}_3$  0,01 mol/L (B ocluso em óxidos de Mn e mais facilmente decompostos comparados aos óxidos de Fe e Al), cujas frações se tornam lentamente disponíveis para as plantas durante seu ciclo de vida, os autores consideraram como componentes do fator quantidade (Q). Em pesquisa anterior com solos do Havaí, Okasaki & Chao (1968) demonstraram que o método da água quente não extrai todo o B disponível para as plantas em extração única, liberando, na verdade, uma fração do disponível que pode, inclusive, não ser proporcional ao teor total disponível do elemento presente no solo. Eles mostraram que uma única extração estimou apenas 41,9 a 46,9 % do total de 1,13 a 1,24  $\text{mg/dm}^3$  de B disponível nativo estimado em dois Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos húmicos, com cinco extrações sucessivas pelo método da água quente. Adicionando-se em cada solo 10  $\text{mg/dm}^3$  de B, apenas 53,9 a 63,2 % foram estimados na primeira extração com água quente. Os autores sugeriram, então, que uma única extração representaria o fator intensidade e que o B recuperado em várias extrações sucessivas representaria o fator quantidade.

Ferreira H. & Silva (1999) aplicaram o esquema de fracionamento sequencial de Jin et al. (1987) a 29 solos do estado do Ceará e encontraram que: 19,6 a 70,7 % do B total dos solos estava na forma residual ou oclusa nos minerais argilosos silicatados; 18,3 a 46,7 % se achavam associados aos óxidos de Fe cristalinos; 6,4 a 30 % estavam associados aos óxidos amorfos de Fe e Al; 0,65 a 10,69 % se encontravam associados aos óxidos de Mn e 0,32 a 4,43 % estavam nas frações solúveis e adsorvidas não específica e especificamente. Os autores mostraram que o B extraído por água quente,  $\text{HCl}$  0,05 mol/L e manitol representam principalmente o B das frações solúvel em água e não-especificamente adsorvido ou trocável (componentes do fator intensidade), em menor proporção, o B das frações especificamente adsorvido ou complexado na matéria orgânica e o ligado aos óxidos de Mn (fator quantidade).

Alguns minerais importantes de B são os não silicatados bórax, quernita, colemanita e ulexita e o silicatado turmalina. O B dos minerais não silicatados é altamente solúvel e só persiste no solo sob condição de aridez; a turmalina, ao

contrário, é um mineral silicatado de alta resistência ao intemperismo que cede pouco B ao solo mas que pode constituir a principal reserva deste em regiões úmidas bem drenadas (Berger, 1949; Mello et al., 1989; Raij, 1991a, Srivastava & Gupta, 1996).

A disponibilidade de B no solo é controlada, dentre outros fatores, pelo pH, pelos teores de óxidos amorfos e cristalinos Fe, e minerais de argila silicatados capazes de adsorvê-lo, pela textura, pela presença de minerais que o contenham (como a turmalina) e, principalmente, pela matéria orgânica (Berger, 1949; Ribeiro, 1974; Gupta, 1979; Dantas, 1991).

A adsorção de B ao solo ocorre mais comumente na fração argila. As partículas da matéria orgânica o adsorvem por troca de ligante nas terminações OH próximas, formando ligações do tipo cis-diol (Dantas, 1991). Segundo Sims & Bingham (1967, 1968a) minerais silicatados da argila, como a vermiculita, a caulinita, a montmorilonita e a hidrobiotita, têm capacidade de adsorver o B com um máximo de adsorção ocorrendo na faixa alcalina. No entanto, esses autores acreditam que essa adsorção se deva, em grande, parte à presença de óxidos de Fe e Al que ocorrem como impurezas nas amostras analisadas (Sims & Bingham, 1968b).

A adsorção de B em solos de Minas Gerais foi estudada por Ribeiro (1974). Ele demonstrou que a adsorção máxima, para os Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolo Vermelho distroférico, ocorre próximo ao pH 7,0; por outro lado, a adsorção máxima para o Latossolo Vermelho eutroférico foi crescente até o limite de pH (8,5) testado, o que foi atribuído a possível formação de borato de cálcio no solo e à possibilidade do cálcio do complexo de troca agir como ponte, aumentando a capacidade de adsorção de B do solo para além dos pontos de adsorção esperados na superfície dos colóides. Ficou confirmado, também, o fato de que há um aumento da capacidade de adsorção de B à medida que se aumenta o pH do solo, como mostrado por Sharrer et al. citados por Goldberg & Glaubig (1985), os quais demonstraram que os óxidos de Al apresentavam picos de adsorção máxima entre pH 6,0 e 7,0, enquanto nos óxidos de Fe ficavam entre pH 8,0 e 9,0. Assim, fica comprovado que os resultados

obtidos por Ribeiro (1974) refletem a forte predominância desses óxidos nos Latossolos estudados. Conforme Fontes & Weed (1991), esses solos têm uma mineralogia simples, constituindo-se de caulinita, gibbsita, goethita e hematita; a caulinita é o único mineral silicatado presente em quantidades expressivas; a goethita e a hematita, os principais óxidos de Fe; e a gibbsita, a quase totalidade do óxido de Al presente na argila.

Os óxidos de Al adsorvem maiores quantidades de B que os óxidos de Fe (Sims & Bingham, 1968b). Para nossos solos, principalmente os gibbsíticos, este fato constitui informação importante em vista da expectativa de que neles haja maior capacidade de reter o B aplicado, diminuindo suas perdas por lixiviação, uma vez que a adsorção máxima nos óxidos de Al ocorre a pH muito próximo daquele geralmente usado para o cultivo. Desta forma, um conhecimento melhor das frações de B no solo e de sua disponibilidade e capacidade de suporte para as diferentes culturas torna-se uma informação muito importante para o seu correto manejo.

Embora não haja um limite analítico claro na distribuição dos nutrientes nas diferentes frações do solo, pesquisas de fracionamento têm ajudado na compreensão da disponibilidade de certos nutrientes como P (Chang & Jackson, 1957; Novais, 1977), Cu (McLaren & Crawford, 1973a) e Zn (Iyengar et al., 1981); também tem ajudado na compreensão da disponibilidade e do comportamento do B (Jin et al., 1987; Hou et al., 1994, 1996) no solo, assim como dos outros micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e dos metais pesados nativos ou adicionados ao solo (Shuman, 1985; Gomes et al, 1999; Egreja Filho, 2000). Os processos de adsorção, dessorção e esgotamento também têm sido estudados para os micronutrientes Cu, Mn e Zn (Nascimento, 2001). Esses estudos de fracionamento se baseiam na pressuposição de que certos reagentes podem atacar especificamente determinadas partículas componentes do solo e liberar somente os nutrientes a ela associados.

Jin et al. (1987) mostraram que o conteúdo de B nas plantas de milho se correlacionou estreitamente ( $\alpha=0,01$ ) com as frações do B solúvel em água (CwsB), extraível com  $\text{CaCl}_2$  (NsaB), trocável por manitol (SaB) e a extraível

por  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$  (MnoB). As frações do B oclusas em óxidos de Fe e de Al amorfos (AfeoB), em óxidos de Fe (CfeoB) e nas estruturas cristalinas dos silicatos (ResB) não estavam disponíveis para esta cultura. No entanto, Tsadilas et al. (1994), aplicando os mesmos procedimentos de extração, observaram muito alta correlação ( $\alpha=0,001$ ) entre o teor foliar de B em oliveira e em cevada e o teor de B da fração AfeoB; assim, esta fração também deverá ser incluída no reservatório lábil do B no solo, fazendo parte do fator quantidade.

Adicionalmente, Tsadilas et al. (1994) mostraram que a disponibilidade das formas de B variam com as espécies de plantas, tendo a fração AfeoB explicado 46 % da variação dos teores foliares de B da oliveira e as frações CwsB e MnoB explicado 96 % da variação dos teores de B nas folhas da cevada.

Assim, o conhecimento da origem e da contribuição das diversas frações de B do solo na nutrição das plantas cultivadas nos solos brasileiros, altamente intemperizados, é de grande importância para possibilitar o desenvolvimento de uma metodologia de extração efetiva que possibilite uma boa estimativa da sua reserva do B disponível, mesmo porque o extrator mais usado, a água quente, tem mostrado ser pouco efetivo na extração de frações de B ocluso em óxidos de Mn (Tsadilas et al.,1994) e sua ação sobre o B ocluído em óxidos de Fe amorfo desses solos precisa ser mais bem estudada.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Coleta e caracterização química, física e mineralógica dos solos utilizados**

Foram utilizadas amostras das camadas superficiais (0 a 20 cm) de 15 solos oriundos do estado de Minas Gerais, dentre os quais 12 eram provenientes de diversas localidades onde existe o cultivo comercial de Eucalipto, pertencentes à Empresa de Celulose Nipo-brasileira (CENIBRA), e três oriundos do Banco de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Sete Lagoas, São Sebastião do Paraíso e João Pinheiro) (Quadro 3).

As amostras desses solos foram secadas ao ar, peneiradas em peneiras de 2 mm e submetidas a caracterizações químicas, físicas e mineralógicas (Quadros 4 e 5).

Esta pesquisa foi realizada em duas etapas diferentes: (i) na caracterização das diferentes frações químicas das amostras de solo antes da incubação com as doses de micronutrientes; e (ii) na avaliação da disponibilidade das diferentes frações dos micronutrientes e da sua dinâmica no solo.

**Quadro 3. Classificação, localidade e município de procedência dos solos utilizados**

Solo	Localidade (projeto)	Município
Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA	Abre Campo-AC	São Gonçalo do Rio Abaixo-MG
Cambissolo – C	Cururu-CU	Santa Bárbara-MG
Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA	Égas-EG	Bom Jesus do Amparo-MG
Cambissolo latossólico – Cl	Fonseca-FO	Alvinópolis-MG
Cambissolo – C	Valéria II-VII	Santa Bárbara-MG
Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA	Valéria II-VII	Santa Bárbara-MG
Neossolo Flúvico – RU	Santa Fé-SF	Bom Jesus do Galho-MG
Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA	Batinga-BA	Santana do Paraíso-MG
Latossolo Vermelho – LV	Borges-BO	Divinolândia de Minas-MG
Latossolo Vermelho – LV	Babilônia II-BII	São João Evangelista-MG
Latossolo Vermelho – LV	Correntinho I-CO	Sabinópolis-MG
Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA	Boa Vista IV-BV	Naque-MG
Latossolo Vermelho – LV	Sete Lagoas-SL	Sete Lagoas-MG
Latossolo Vermelho distroférico – LVdf	São Seb.do Paraíso-SSP	São Sebastião do Paraíso-MG
Latossolo Vermelho-Amarelo – LVA	João Pinheiro-JP	João Pinheiro-MG

### **3.2. Fracionamento dos micronutrientes e extração das formas disponíveis**

Na primeira fase deste trabalho foram utilizadas amostras das camadas superficiais (0 a 20 cm) de 15 solos, os quais tinham amplas variações em suas características químicas, físicas e mineralógicas (Quadros 3 e 4) e representam a ocorrência média observada dos solos da região em estudo.

Subamostras desses solos, peneiradas em 2 mm, foram pesadas em triplicatas e submetidas à extração das frações químicas de Cu, Fe, Mn e Zn, usando-se a metodologia de Shuman (1985) com as seguintes modificações: i) redução da quantidade de solo de 10 g para 2,5 g nas frações Trocável - Tro e Matéria Orgânica - MO, para economizar reagentes; ii) junção dos extratos das duas extrações sucessivas da matéria orgânica por NaClO 0,7 mol/L; iii) uso de 0,50 g de solo, ao invés de 1,00 g, para a extração das frações ligadas aos óxidos de Mn - OxMn, aos óxidos de Fe amorfo - OxFeA e aos óxidos de Fe cristalino - OxFeC, com o objetivo de manter a relação solução:solo de 20, 50 e 50 vezes, respectivamente, conforme a metodologia original, possibilitar o uso de

**Quadro 4. Caracterização química e física dos solos<sup>(1)</sup> utilizados**

Característica	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	LVA-JP
pH água 1:2,5	4,35	4,56	4,69	4,51	4,70	4,65	6,24	4,96	4,75	4,43	4,72	4,39	5,63	5,39	5,20
pH KCl 1 mol/L 1:2,5	4,11	4,00	3,93	4,13	4,06	4,08	5,34	4,61	4,29	4,18	4,28	4,05	4,53	4,56	3,97
Mat. Orgânica, dag/kg <sup>(2)</sup>	3,32	2,06	2,94	4,69	1,98	1,95	1,03	4,44	4,65	4,96	4,53	3,73	7,79	2,51	1,12
P, mg/dm <sup>3</sup> <sup>(3)</sup>	0,68	0,71	0,80	0,70	0,64	0,64	1,53	1,34	0,79	0,56	0,37	0,97	4,17	1,05	0,84
K, mg/dm <sup>3</sup> <sup>(3)</sup>	9,32	11,84	8,57	13,36	7,81	16,13	82,91	12,35	26,97	6,55	6,55	13,86	71,07	42,84	45,11
Na, mg/dm <sup>3</sup> <sup>(3)</sup>	4,98	5,48	4,23	6,99	5,23	9,76	45,47	11,77	16,30	2,97	3,97	9,51	42,71	27,36	27,87
Ca <sup>2+</sup> , cmol/dm <sup>3</sup> <sup>(4)</sup>	0,10	0,08	0,04	0,04	0,04	0,08	1,37	0,05	0,10	0,06	0,02	0,11	3,21	0,57	0,32
Mg <sup>2+</sup> , cmol/dm <sup>3</sup> <sup>(4)</sup>	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,44	0,04	0,09	0,03	0,02	0,07	0,60	0,15	0,43
Al <sup>3+</sup> , cmol/dm <sup>3</sup> <sup>(4)</sup>	1,60	2,06	2,58	1,70	1,54	1,52	0,00	0,72	1,02	1,40	1,04	1,54	0,36	0,12	1,32
H+Al, cmol/dm <sup>3</sup> <sup>(5)</sup>	9,51	7,16	8,85	11,06	6,17	6,70	2,05	10,80	11,29	12,87	10,27	10,03	11,88	6,93	5,32
SB, cmol/dm <sup>3</sup>	0,18	0,17	0,11	0,15	0,12	0,21	2,22	0,17	0,33	0,12	0,08	0,26	4,18	0,95	0,99
CTC efetiva, cmol/dm <sup>3</sup>	1,78	2,23	2,69	1,85	1,66	1,73	2,22	0,89	1,35	1,52	1,12	1,80	4,54	1,07	2,31
CTC a pH 7,0, cmol/dm <sup>3</sup>	9,69	7,33	8,95	11,20	6,29	1,91	4,27	10,97	11,61	12,99	10,34	10,29	16,06	7,88	6,30
V, %	1,9	2,3	1,2	1,3	6,9	3,0	52,1	1,6	2,8	0,9	0,7	2,5	26,0	12,1	15,6
m, %	90	92	96	92	93	88	0	81	76	92	93	86	8	11	57
Areia, % <sup>(6)</sup>	57	46	39	33	43	40	67	58	30	23	6	22	19	31	63
Silte, % <sup>(6)</sup>	10	12	20	17	17	13	12	7	11	9	12	7	16	22	7
Argila, % <sup>(6)</sup>	33	42	41	50	40	47	21	35	59	68	82	71	65	47	30
Equiv. Umidade, dag/kg <sup>(6)</sup>	17	21	29	31	26	24	16	20	28	30	33	26	33	21	13
Densidade do Solo, kg/dm <sup>(6)</sup>	1,14	1,02	0,96	0,94	1,02	1,08	1,21	1,07	1,07	1,01	0,90	1,01	0,85	1,12	1,24
Densidade Real, kg/dm <sup>(6)</sup>	2,45	2,40	2,37	2,35	2,50	2,41	2,41	2,38	2,50	2,40	2,50	2,47	2,27	2,70	2,60
Fe ditionito, dag/kg <sup>(6)</sup>	2,28	0,61	1,49	3,69	0,96	2,49	2,32	3,61	7,69	7,44	6,98	6,71	6,63	13,07	2,08
Fe oxalato, dag/kg <sup>(6)</sup>	0,10	0,08	0,17	0,27	0,11	0,08	0,07	0,20	0,25	0,17	0,17	0,18	0,17	0,32	0,06
Al ditionito, dag/kg <sup>(6)</sup>	1,03	0,50	0,90	1,84	0,53	0,99	0,49	2,65	1,94	2,54	2,45	2,64	2,28	1,87	0,79
Al oxalato, dag/kg <sup>(6)</sup>	0,27	0,24	0,39	0,48	0,22	0,21	0,08	0,66	0,50	0,54	0,75	0,27	0,68	0,39	0,10
SiO <sub>2</sub> , dag/kg <sup>(7)</sup>	7,86	13,70	15,54	15,09	16,42	14,41	11,21	5,97	12,39	17,49	15,95	19,65	19,14	4,67	10,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , dag/kg <sup>(7)</sup>	18,62	24,44	26,32	28,46	24,14	23,41	14,95	21,49	32,31	32,44	40,57	32,87	34,62	30,71	11,69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , dag/kg <sup>(7)</sup>	3,72	1,36	2,72	7,49	1,81	5,65	4,64	7,16	15,77	16,72	14,66	14,82	12,68	34,18	3,91
TiO <sub>2</sub> , dag/kg <sup>(7)</sup>	0,2595	0,2912	0,3767	1,1093	0,2849	0,6626	0,5205	0,7385	1,7859	2,7017	2,0703	1,2955	0,8026	6,8513	0,3264
MnO <sub>2</sub> , dag/kg <sup>(7)</sup>	0,0037	0,0101	0,0061	0,0155	0,0045	0,0141	0,0836	0,0034	0,0186	0,0298	0,0146	0,0102	0,0267	0,1540	0,0052
Ki	0,42	0,56	0,59	0,53	0,68	0,62	0,75	0,28	0,38	0,54	0,39	0,60	0,55	0,15	0,86
Kr	0,35	0,53	0,54	0,42	0,63	0,50	0,57	0,21	0,26	0,36	0,29	0,41	0,40	0,07	0,64
Mn NH <sub>2</sub> OH.HCl, mg/kg <sup>(8)</sup>	0,87	1,73	3,63	2,31	3,15	12,19	143,01	2,22	8,33	5,13	2,00	6,66	53,61	87,29	12,34
Caulinita, dag/kg <sup>(9)</sup>	16,9	29,5	33,4	32,5	35,3	31,0	24,1	12,8	26,7	37,6	34,3	42,3	41,2	10,0	21,6
Gibbsita, dag/kg <sup>(9)</sup>	18,3	19,6	20,1	23,9	15,6	17,1	8,3	25,1	33,3	26,9	41,3	24,7	28,08	40,9	4,8
Hematita, dag/kg <sup>(9)</sup>	3,74	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,9	12,6	12,2	11,5	11,0	10,9	21,5	0,2
Goethita, dag/kg <sup>(9)</sup>	0,2	1,2	2,9	0,3	1,8	4,8	4,4	6,0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	1,1	4,0

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. <sup>(2)</sup>Walkley-Black, <sup>(3)</sup>Mehlich-1, <sup>(4)</sup> KCl 1 mol/L e <sup>(5)</sup>CaOAc 0,5 mol/L a pH 7,0 (De Filippo & Ribeiro, 1997). <sup>(6)</sup> Embrapa (1997, 1997). <sup>(7)</sup> Ataque sulfúrico (Vettori, 1969). <sup>(8)</sup> Chao (1972). <sup>(9)</sup> Resende et al. (1987).

**Quadro 5. Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis extraídos por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L<sup>(1)</sup>, Mehlich-1<sup>(2)</sup>, Mehlich-3<sup>(3)</sup> e DTPA pH 7,3<sup>(4)</sup>, teores totais<sup>(5)</sup> nos solos<sup>(7)</sup> utilizados**

Característica	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	LVA-JP	Média
B – CaCl <sub>2</sub> , mg/dm <sup>3</sup>	0,21	0,17	0,15	0,24	0,12	0,13	0,10	0,12	0,35	0,24	0,14	0,34	0,21	0,12	0,12	0,18
Cu – Mehlich-1, mg/dm <sup>3</sup>	0,56	0,33	0,13	0,16	0,93	0,67	2,50	0,09	0,76	1,10	0,19	0,51	0,71	6,27	0,49	1,03
Cu – Mehlich-3, mg/dm <sup>3</sup>	1,33	0,53	0,37	0,34	0,68	1,14	8,29	0,26	1,31	1,40	0,45	0,98	1,08	5,89	0,71	1,65
Cu – DTPA, mg/dm <sup>3</sup>	0,63	0,29	0,20	0,29	0,46	0,47	1,68	0,54	0,81	1,36	0,26	0,48	0,76	4,51	0,26	0,87
Cu – Total, mg/kg	12,70	8,99	8,31	10,67	12,52	17,39	32,31	9,85	32,87	47,39	23,68	42,33	49,42	101,11	25,20	28,98
Fe – Mehlich-1, mg/dm <sup>3</sup>	56,70	66,96	67,51	71,96	76,49	27,41	11,56	40,49	46,79	29,92	23,13	58,11	26,70	34,72	18,15	43,77
Fe – Mehlich-3, mg/dm <sup>3</sup>	316,68	297,24	336,44	322,06	287,00	158,96	209,22	207,54	262,50	292,26	150,78	308,26	144,02	108,54	99,18	233,38
Fe – DTPA, mg/dm <sup>3</sup>	66,03	49,76	50,36	52,59	33,89	20,46	9,03	37,93	56,67	70,94	33,33	56,54	37,00	15,73	13,20	40,23
Fe – Total, mg/kg	27.700	10.900	18.400	45.567	12.467	33.667	27.600	42.833	83.348	88.723	69.967	78.300	71.700	187.195	23.733	54.807
Mn – Mehlich-1, mg/dm <sup>3</sup>	1,09	1,37	2,27	1,82	2,12	4,41	61,09	1,52	3,02	1,75	0,94	3,37	25,75	35,31	6,92	10,18
Mn – Mehlich-3, mg/dm <sup>3</sup>	0,96	0,57	0,78	0,46	0,42	1,27	105,53	2,74	1,48	0,50	0,40	1,41	13,82	27,96	5,20	10,90
Mn – DTPA, mg/dm <sup>3</sup>	0,46	0,72	0,97	0,85	0,82	2,32	43,58	0,56	1,76	1,11	0,54	1,75	14,06	25,53	7,61	6,84
Mn – Total, mg/kg	24,40	80,24	38,45	118,33	27,84	102,12	674,47	18,60	125,82	232,96	90,69	60,46	195,76	1.274,47	36,09	206,71
Zn – Mehlich-1, mg/dm <sup>3</sup>	4,69	1,64	0,80	1,14	2,75	1,52	2,90	1,19	0,85	1,40	0,95	0,90	1,56	0,98	0,70	1,60
Zn – Mehlich-3, mg/dm <sup>3</sup>	4,40	1,04	0,15	0,23	1,59	1,13	2,19	0,65	0,27	0,55	0,14	0,09	0,56	0,31	0,30	0,91
Zn – DTPA, mg/dm <sup>3</sup>	3,17	0,83	0,22	0,28	1,25	0,76	1,07	0,32	0,26	0,46	0,32	0,21	0,46	0,35	0,20	0,68
Zn – Total, mg/kg	82,48	37,56	35,87	34,33	31,70	35,07	54,59	33,92	38,95	47,71	37,26	38,32	66,39	149,59	21,43	49,68

<sup>(1)</sup> Ferreira et al. (2001). <sup>(2)</sup> De Filippo & Ribeiro (1997). <sup>(3)</sup> Mehlich (1984). <sup>(4)</sup> Lindsay & Norvell (1978). <sup>(5)</sup> Ataque triácido (Embrapa, 1997). <sup>(7)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro.

tubos de centrífuga de 50 mL e economizar reagente; e iv) dosagem da fração residual-Res por diferença do ataque total-Tot em relação ao somatório das frações anteriores. Não foi feito o fracionamento do B.

O esquema de fracionamento pode ser observado no quadro 6. As seguintes considerações importantes foram atendidas: i) centrifugar por, no mínimo, 5 min a 4.000 rpm e filtrar em papel de filtro rápido; ii) após cada fração, lavar o resíduo com NaCl 0,5 mol/L para evitar perdas de argila dispersa no sobrenadante descartado; iii) ajustar o pH para 8,5 da solução de NaClO 0,7 mol/L, imediatamente antes do uso, devido à sua instabilidade (Shuman, 1985); iv) fazer curvas-padrão para cada elemento químico e cada fração, a fim de minimizar o efeito-matriz. Para a fração MO, extraída com NaClO, a curva-padrão foi feita com NaCl 0,7 mol/L (Gomes et al., 1997).

O Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos simultaneamente pelos extratores Mehlich-1 (De Filipo & Ribeiro, 1997), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) e DTPA pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978) e dosados por espectrofotometria de absorção atômica.

### **3.3. Avaliação da disponibilidade das diferentes frações dos micronutrientes e da sua dinâmica no solo**

Na segunda fase deste trabalho, amostras de camadas de 0-20 cm de 14 solos (exceto o Latossolo Vermelho-Amarelo de João Pinheiro-MG, devido à pequena quantidade disponível no Banco de Solos do DPS/UFV), com variabilidade nas suas características químicas e físicas, foram destorroadas, peneiradas em malhas de 2 mm e acondicionadas em vasos plásticos de 2,0 dm<sup>3</sup>.

Como o estudo pretendia avaliar a disponibilidade dos nutrientes em condições naturais, os solos não foram corrigidos com calcário para evitar reações de adsorção, precipitação e de redução de disponibilidade, pelo aumento do pH (Shuman, 1991; Nascimento, 2001).

Cada unidade experimental recebeu 300 mg/dm<sup>3</sup> de N, usando (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> como sua fonte para possibilitar a utilização das diferentes combinações de teores dos elementos usados. Para o K,

**Quadro 6. Método seqüencial de extração para Cu, Fe, Mn e Zn no solo**

Etapa	Fração	Solução Extratora	Solo	Solução	Condições
			---- g ----	----- mL -----	
1	Trocável – Tro	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1 mol/L pH 7,0	2,50	10	Agitar por 2 h.
2	Matéria orgânica – MO	NaClO 0,7 mol/L pH 8,5	2,50	5	Banho-maria fervendo por 30 min; mexer ocasionalmente. Repetir e combinar os extratos.
3	Óxido de Mn – OxMn	NH <sub>2</sub> OH.HCl 0,1 mol/L em HNO <sub>3</sub> 0,01 mol/L pH 2,0	0,50 <sup>(1)</sup>	10	Agitar por 30 min.
4	Óxidos amorfos de Fe – OxFeA	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O 0,2 mol/L em H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,2 mol/L pH 3,0	0,50	25	Agitar 4 h no escuro.
5	Óxidos cristalinos de Fe – OxFeC	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O 0,2 mol/L + H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,2 mol/L em ácido ascórbico 0,1 mol/L pH 3,0	0,50	25	Banho-maria fervendo por 30 min. Mexer ocasionalmente.
(6)	(Residual – Res)	-	-	-	(Encontrado por diferença.)
7	Total - Tot	HF/HNO <sub>3</sub> /HCl no microondas	1,00	20	30 min de incremento e 50 min em 0,83 MPa.

<sup>(1)</sup> 2,5g da amostra da etapa 2 foi secada em estufa até peso constante, passada em peneira de 35 mesh, e pesados 0,50 g para continuar as análises. Após cada etapa, lavar as amostras com NaCl 0,5 mol/L (10 mL após as etapas 1 e 2; e 2,5 mL após as etapas 3 e 4) e agitar por 3 min. A separação das fases sólida e líquida foi feita por centrifugação a 4000 rpm por 5 min.

FONTE: Adaptado de Shuman (1985).

aplicou-se a diferença entre o teor encontrado pela análise de rotina e o desejado, de 200 mg/dm<sup>3</sup>, em cada solo com as fontes K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e KNO<sub>3</sub>. As doses de P [aplicadas como (NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>] e S [como (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] foram baseadas no P remanescente (Prem) (Quadro 7) (Alvarez V. et al., 2000). O Ca [aplicado como CaCl<sub>2</sub> e Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] e o Mg (como MgCl<sub>2</sub>) foram fornecidos, de modo que o solo alcançasse os teores de 2,0 e 0,5 cmol/dm<sup>3</sup>, respectivamente. Todos os tratamentos receberam 0,30 mg/dm<sup>3</sup> de Mo (como Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). O N foi aplicado parcelado em três vezes, metade na adição dos tratamentos e o restante em duas partes iguais aos 10 e 20 dias após a emergência.

Os tratamentos foram aplicados seguindo-se uma matriz Baconiana (Quadro 8) e se usando a presença ou não de cada um dos seguintes micronutrientes: B = 0,50, Cu = 2,0, Fe = 10,0, Mn = 5,0 e Zn = 5,0 mg/dm<sup>3</sup>. Fez-se, também, um tratamento adicional com todos os nutrientes. O B foi aplicado como H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, o Fe como Fe-EDTA, o Cu como CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, o Mn como MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O e o Zn como ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O. Todos os elementos foram solubilizados previamente e pipetados nos volumes necessários para cada vaso sobre os solos, previamente espalhados. Após a aplicação dos tratamentos e da adubação básica, as amostras foram homogeneizadas sobre um saco plástico e incubadas por 15 dias com umidade próxima à capacidade de campo, em vasos com capacidade para 2,0 dm<sup>3</sup>, não drenados e recobertos com saco de polietileno. Após a incubação e depois de cada cultivo foram retirados 100 cm<sup>3</sup> de solo para extração das frações químicas de Cu, Fe, Mn e Zn (Shuman, 1985) e das suas formas disponíveis por DTPA pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978) e Mehlich-1 (De Filippo & Ribeiro, 1997), da mesma maneira como foi comentado na seção anterior. Também foi extraída a forma disponível de B, usando-se o CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L aquecido no forno microondas (Abreu et al., 1994; Ferreira et al., 2001). O B foi dosado por colorimetria da azometina-H (Bingham, 1982) e os demais por espectrofotometria de absorção atômica.

Utilizou-se, em cada cultivo, um delineamento em blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em um fatorial 14 x 7 (solos x nutrientes) com três repetições. Os vasos para cada solo foram distribuídos ao acaso dentro de cada

**Quadro 7. Doses de P e S em função do P remanescente (Prem)<sup>(1)</sup>**

Solo <sup>(2)</sup>														
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	Cl-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP
	-----mg/L-----													
Prem	11,33	12,52	6,91	3,36	15,52	11,46	33,88	1,47	4,87	3,93	3,38	8,31	10,80	8,84
	-----mg/dm <sup>3</sup> -----													
P	240	240	276	312	240	240	186	312	312	312	312	276	276	312
S	60	60	72	84	60	60	48	84	84	84	84	72	72	84

<sup>(1)</sup>(Alvarez V. et al., 2000). <sup>(2)</sup>Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; Cl – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Égas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro.

**Quadro 8. Matriz Baconiana usada**

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg/dm <sup>3</sup> -----				
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
7	0,5	2,0	10,0	5,0	5,0

um dos blocos e, semanalmente, foram submetidos a um rodízio de suas posições. Foram feitos três cultivos sucessivos.

Após a incubação, cada vaso recebeu 10 sementes do milho da variedade Vencedor, tolerante à presença de alumínio trocável no solo. Aos 10 dias do plantio foi efetuado o desbaste, deixando-se 5 plantas por vaso. A umidade dos solos foi mantida entre 70-100 % da capacidade de campo, por pesagem e verificação visual diária, enquanto as plantas foram cultivadas durante 30 dias após a emergência.

Decorrido o período de cultivo, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo e secada a 70°C, em estufa com ventilação forçada, até peso constante; a seguir, o material foi pesado e moído em moinho tipo Wiley. O B foi dosado por colorimetria pelo método da azometina-H, após calcinação em forno elétrico até a obtenção de cinza branca (Bingham, 1982). Os demais micronutrientes foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica, após a digestão das amostras com a mistura dos ácidos nítrico e perclórico.

O período de condução dos três cultivos foi de 16 de novembro de 2000 até 6 de abril de 2001. Após cada cultivo, o solo foi peneirado em peneira de 2 mm de malha e as raízes foram retiradas do meio. Dado ao aparecimento de sintomas de deficiência de Mg e de P, no primeiro cultivo, aplicou-se 0,8 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca e 0,2 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg e 40 mg/dm<sup>3</sup> de P no solo antes do segundo cultivo. Durante este cultivo, em virtude da manifestação visual de sintomas de deficiência de P, K e S em algumas plantas, foram aplicados 150 mg/dm<sup>3</sup> de P, 75 mg/dm<sup>3</sup> de K e 31 mg/dm<sup>3</sup> de S parcelados aos 10 e 20 dias do plantio, juntamente com o N em cobertura; já durante o terceiro e último cultivo, foram necessárias aplicações de 120, 95, 63 e 22 mg/dm<sup>3</sup> de P, K, S e Mg, respectivamente, na primeira cobertura com N.

### **3.4. Dados obtidos e análise estatística utilizada**

Na primeira fase desta pesquisa avaliaram-se os teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas diferentes frações químicas e os teores disponíveis no solo, extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3.

Os teores das frações foram comparados com os valores de características do solo e de teores disponíveis pelos extratores usados, por meio da correlação de Pearson e do uso de correlação parcial. Adicionalmente, os teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn foram ajustados a equações de regressão múltipla, usando-se as suas diferentes frações químicas no solo e os valores de pH como variáveis independentes. Os extratores foram comparados entre si por meio de correlação linear simples.

Os teores dos micronutrientes em cada fração química foram relacionados com os valores das características dos solos, por meio de regressão múltipla, usando-se o processo de *Backward*. Os teores disponíveis de cada micronutriente pelos três extratores usados foram relacionados com suas respectivas frações no solo, utilizando-se o processo de *Stepwise*; neste caso, devido à presença de dados discrepantes (*outlier*) e de correlações lineares superiores a 0,8 entre algumas variáveis, concorrendo para a existência provável de multicolinearidade, optou-se

pela execução das análises por duas maneiras diferentes: em uma, usando todos os dados sem qualquer restrição e na outra com a eliminação dos dados que apresentaram as características citadas acima, conforme Oliveira et al. (1999).

Na segunda fase desta pesquisa, utilizou-se como variável os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn extraídos do solo por água quente, DTPA pH 7,3 e Mehlich-1; os teores e os conteúdos dos micronutrientes na parte aérea; e o peso de matéria seca produzida em cada cultivo e no conjunto dos três cultivos executados. Também se utilizou como variável os valores de Cu, Fe, Mn e Zn encontrados em suas diferentes frações químicas no solo.

Por meio de análise de variância e teste de média, usando o critério de Tukey, comparou-se os tratamentos, solos e cultivos entre si e mediu-se a resposta da planta à aplicação dos tratamentos. Em geral, foi necessária a transformação dos dados em  $y = \ln(x+1)$ , pois os desvios padrões das diversas variáveis testadas eram proporcionais às suas médias. Por meio de regressão múltipla, usando o processo de *Stepwise*, os dados dos conteúdos dos micronutrientes no tecido e os seus teores disponíveis estimados pelos extratores usados foram ajustados aos seus teores encontrados nas suas diferentes frações químicas extraídas após a incubação dos solo com as doses aplicadas. Os conteúdos dos micronutrientes na planta também foram ajustados aos teores disponíveis encontrados por DTPA e Mehlich-1. Dada a presença de dados discrepantes (*outlier*) e de correlações lineares superiores a 0,8 entre algumas variáveis, concorrendo para a existência provável de multicolinearidade, optou-se pela execução das análises por duas maneiras diferentes: uma usando todos os dados sem qualquer restrição e a outra com a eliminação dos dados que apresentaram as características citadas acima, conforme Oliveira et al. (1999).

Os modelos de regressão ajustados e seus coeficientes foram testados usando-se o quadrado médio do independente da regressão, para que houvesse uniformidade de tratamento dos dados nas duas fases deste trabalho.

Foram utilizados o Sistema de Análises Estatísticas Gerais (SAEG-UFV), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, e o programa SAS, como suporte na execução das análises.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Fracionamento de micronutrientes catiônicos nativos**

#### **4.1.1. Frações de Cu, Fe, Mn e Zn**

Os teores totais de Cu (8,31 a 101,11 mg/kg), Fe (10.900 a 187.195 mg/kg), Mn (18,60 a 1.274,47 mg/kg) e Zn (21,43 a 149,59 mg/kg) (Quadros 9, 10, 11 e 12, respectivamente) estão dentro dos limites reportados na literatura para os solos brasileiros (Valadares, 1975; Valadares & Catani, 1975; Valadares & Camargo, 1983; Amaral, 1999), com os maiores valores sendo obtidos para aqueles derivados de rochas básicas.

Para o Cu (Quadro 9), os teores das formas solúveis e trocáveis (Cu-Tro) estavam em concentrações não detectáveis. Os teores de Cu na fração matéria orgânica (Cu-MO) variaram de 0,06 a 2,45 mg/kg, o que representa de 0,6 a 7,6 % do Cu total do solo. Levesque & Mathur (1986) mostraram que apenas 0,85 % e 0,67 % do Cu existente em solos orgânicos do Canadá estavam nas formas solúveis em água e trocável, respectivamente, e que 57 % eram não-trocáveis e 28 fortemente complexados na matéria orgânica. Shuman (1985) e Sims (1986) encontraram grande proporção de Cu presente na fração matéria orgânica; entretanto, é possível que a maior amplitude de variação de teores de carbono

**Quadro 9. Teores e percentuais de cobre em diversas frações químicas (Tro - trocável; MO - matéria orgânica; OxMn - óxido de Mn; OxFeA - óxido de Fe amorfo e OxFeC - cristalino; Res - residual; e Tot - total) de 15 solos<sup>(1)</sup> de Minas Gerais**

Solo	MO		OxMn		OxFeA		OxFeC		Res		Tot
	mg/kg	%	mg/kg	%	Mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg
LVA-AC	0,39	3,1	1,56	12,3	2,63	20,7	1,80	14,2	6,32	49,7	12,70
C-CU	0,42	4,7	0,55	6,2	1,87	20,8	1,77	19,7	4,38	48,7	8,99
LVA-EG	0,06	0,7	1,55	18,7	2,32	27,9	1,72	20,7	2,66	32,1	8,31
CI-FO	0,07	0,7	0,50	4,7	2,13	20,0	2,97	27,8	4,99	46,8	10,67
C-VII	0,39	3,1	1,27	10,2	2,85	22,8	2,30	18,4	5,71	45,6	12,52
LVA-VII	0,32	1,9	1,22	7,0	2,53	14,6	2,73	15,7	10,58	60,9	17,39
RU-SF	2,45	7,6	3,17	9,8	2,95	9,1	9,43	29,2	14,31	44,3	32,31
LVA-BA	0,11	1,1	0,11	1,1	2,00	20,3	2,07	21,0	5,57	56,6	9,85
LV-BO	0,58	1,8	0,96	2,9	4,62	14,0	6,18	18,8	20,53	62,5	32,87
LV-BII	1,42	3,0	1,13	2,4	7,02	14,8	5,00	10,6	32,82	69,3	47,39
LV-CO	0,15	0,6	1,27	5,4	1,88	8,0	2,05	8,7	18,33	77,4	23,68
LVA-BV	0,55	1,3	1,17	2,8	3,20	7,6	5,67	13,4	31,74	75,0	42,33
LV-SL	1,51	3,1	0,98	2,0	6,22	12,6	2,23	4,5	38,47	77,9	49,42
LVdf-SSP	1,81	1,8	6,39	6,3	7,92	7,8	10,15	10,0	74,85	74,0	101,11
LVA-JP	0,31	1,2	0,17	0,7	2,67	10,6	0,43	1,7	21,62	85,8	25,20
Média	0,70	2,4	1,47	6,2	3,52	15,4	3,77	15,6	19,53	60,4	28,98

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro.

orgânico nos solos trabalhados por aqueles pesquisadores e o menor grau de intemperismo dos solos utilizados expliquem a diferença nos resultados encontrados, quando comparado com os dados aqui apresentados. Assim, Nascimento (2001) encontrou 7,33 % do Cu nativo presente na fração orgânica de seis amostras de Latossolos brasileiros e Sims (1986) encontrou valores de 25 a 72 % em solos americanos. Sabe-se que a matéria orgânica é um forte adsorvente e complexador de íons metálicos e que este efeito é maior com o aumento dos seus teores e em solos com pH mais próximos da neutralidade (Stevenson, 1991). Gomes et al. (1997) mostraram que o Cu forma complexo de alta estabilidade com a matéria orgânica e que esta fração é uma das principais do solo com maior afinidade pelo elemento. Desde modo, quanto maior o teor de matéria orgânica e quanto mais próximo da neutralidade estiver o solo, maior será a proporção do Cu nativo nele retido. Neste trabalho, apesar do LV-SL ter os

maiores teores de pH e MO (Quadro 4), sua fração Cu-MO foi apenas a terceira mais elevada. Os solos RU-SF e C-CU, arenosos e com baixos teores de óxidos de Fe, apresentaram os maiores teores de Cu-MO indicando, provavelmente, que o fenômeno é mais complexo e que o tamanho da superfície de adsorção oxidica deva também ser considerada, pois os óxidos de Fe têm forte afinidade pelo Cu e sua capacidade de adsorção aumenta com o aumento do pH dos solos (Padmanabham, 1983; Pombo & Klamt, 1986). Esta competição pelo Cu pode reduzir os teores da fração Cu-MO, como observado por Gomes et al. (1997) e Nascimento (2001).

Os teores encontrados na fração ligada aos óxidos de Mn (Cu-OxMn) variaram de 0,11 a 6,39 mg/kg ou 1,1 até 18,7 % do Cu total. Neste caso, os teores e as relações indicadas não foram coincidentes nos mesmos solos, fato comum devido à grande variação nos teores de Cu total, que iam de 8,31 mg/kg no LVA-EG até 101,11 mg/kg no LVdf-SSP. Assim, como os teores de Cu-OxMn foram relativamente próximos entre si, eles variaram amplamente em percentagem em função dos diferentes teores totais encontrados nos solos.

Os teores de Cu ligados aos óxidos amorfos de Fe e Al (Cu-OxFeA) foram maiores que aqueles encontrados nas frações anteriores, variando de 1,87 até 7,92 mg/kg ou de 7,6 até 27,9 % do Cu total.

Já os teores de Cu ligados aos óxidos cristalinos de Fe (Cu-OxFeC), principalmente goethita e hematita, oscilaram de 0,43 até 10,15 mg/kg ou de 1,7 até 29,2 % do Cu total. A fração residual (Cu-Res) variou de 2,66 até 74,85 mg/kg ou de 32,1 até 85,8 % do Cu total.

No geral, os valores relativos de Cu foram crescentes, na seguinte ordem: Cu-Tro < Cu-MO < Cu-OxMn < Cu-OxFeA < Cu-OxFeC < Cu-Res com os seguintes valores médios: 0,00, 2,4, 6,1, 15,4, 15,6 e 60,4 %. Esses dados são diferentes daqueles apresentados por Shuman (1985), em que a fração orgânica constituiu a maior reserva de Cu do solo, porém os solos usados nesta pesquisa eram fortemente intemperizados e com teores baixos de matéria orgânica, com raras exceções. Esses baixos teores de carbono orgânico possivelmente explicam melhor essa diferença, haja vista existir alta correlação positiva entre teores de

carbono orgânico e proporções de Cu nesta fração no solo (Levesque & Mathur, 1986), como já discutido. Considerando-se que os teores disponíveis à planta estão nos quatro primeiros compartimentos (MacLaren & Crawford, 1973a), os solos estudados tinham um potencial médio de liberação de 23,9 % do Cu total para as plantas e mais de 75 % estavam imobilizados. Como será visto mais adiante, os solos com os menores teores de Cu-MO (LVA-EG, CI-FO, LVA-BA e LV-CO) foram os que provocaram sintomas de deficiência nas plantas de milho, seja pela sua não aplicação ao solo, seja pela aplicação isolada de Fe, Mn ou Zn.

Para o Fe (Quadro 10), os teores trocáveis (Fe-Tro) variaram de 0,00 até 2,62 mg/kg. Os valores percentuais, entretanto, foram próximos de zero, devido aos altos teores de Fe total encontrados nos solos em estudo, que variaram de 10.900 até 187.195 mg/kg. Os valores de Fe total estão acima dos teores médios de 51.000 mg/kg encontrados na litosfera e nos solos em geral (Barber, 1995) e refletem as características de alto grau de intemperismo por eles sofridos. É fato conhecido que o Fe é o nutriente mais abundante no solo, mas as quantidades do elemento em solução e na forma trocável são muito pequenas dada à baixa solubilidade dos minerais que controlam sua disponibilidade (Lindsay, 1979).

Apesar dos teores de Fe na matéria orgânica (Fe-MO) estarem na faixa de 1,16 a 19,16 mg/kg e nos óxidos de Mn (Fe-OxMn), de 39 a 252 mg/kg, esses valores perfazem teores relativos menores que 0,50 % do Fe total dos solos. A maior parte do Fe total foi encontrado nos óxidos cristalinos de Fe (Fe-OxFeC). Os teores encontrados variaram de 5.328 a 69.438 mg/kg ou 37,1 a 94,3 % do Fe total. É necessário observar, no entanto, que os óxidos de Fe fazem parte da estrutura mineral dos solos tropicais, ao contrário dos demais metais, cujos teores estão apenas ligados em maior ou menor intensidade com a sua estrutura mineralógica. Por este motivo, deve-se analisar as frações de Fe de modo diferente das frações de Cu e Zn, no que diz respeito à importância da sua adsorção, dessorção e disponibilidade para as plantas.

Os teores de Fe fazendo parte dos óxidos de Fe amorfos (Fe-OxFeA) variaram de 529 a 4.436 mg/kg. Os valores encontrados corresponderam a uma variação percentual de 1,9 a 13,3 % dos valores de Fe total, com média de 5,7 %.

**Quadro 10. Teores e percentuais de ferro em diversas frações químicas (Tro - trocável; MO - matéria orgânica; OxMn - óxido de Mn; OxFeA - óxido de Fe amorfo e OxFeC - cristalino; Res – residual; e Tot - total) de 15<sup>(1)</sup> solos de Minas Gerais**

Solo	Tro		MO		OxMn		OxFeA		OxFeC		Res		Tot
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	Mg/kg
LVA-AC	2,49	0,01	11,91	0,04	118	0,43	1.322	4,8	25.408	91,7	836	3,0	27.700
C-CU	2,62	0,02	6,25	0,06	132	1,21	988	9,1	5.328	48,9	4.442	40,8	10.900
LVA-EG	1,81	0,01	6,95	0,04	169	0,92	2.453	13,3	13.938	75,8	1.831	10,0	18.400
CI-FO	1,95	0,00	7,04	0,02	232	0,51	4.436	9,7	40.098	88,0	791	1,7	45.566
C-VII	2,15	0,02	3,25	0,03	138	1,11	1.521	12,2	10.653	85,5	148	1,2	12.466
LVA-VII	0,84	0,00	2,43	0,01	79	0,23	1.012	3,0	30.577	90,8	1.994	5,9	33.666
RU-SF	0,05	0,00	1,25	0,00	252	0,91	529	1,9	26.007	94,2	810	2,9	27.600
LVA-BA	0,51	0,00	9,93	0,02	108	0,25	2.748	6,4	25.651	59,9	14.315	33,4	42.833
LV-BO	0,58	0,00	7,24	0,01	167	0,2	3.699	4,4	47.625	57,1	31.848	38,2	83.347
LV-BII	1,24	0,00	12,24	0,01	182	0,21	2.939	3,3	50.001	56,4	35.586	40,1	88.722
LV-CO	0,35	0,00	3,43	0,00	125	0,18	3.043	4,4	62.000	88,6	4.794	6,9	69.966
LVA-BV	0,56	0,00	4,5	0,01	183	0,23	2.701	3,5	60.060	76,7	15.350	19,6	78.300
LV-SL	0,56	0,00	19,16	0,03	138	0,19	3.114	4,3	43.161	60,2	25.266	35,2	71.700
LVdf-SSP	0,00	0,00	1,16	0,01	127	0,16	4.156	2,7	69.438	94,3	113.472	2,8	187.195
LVA-JP	0,44	0,00	2,02	0,00	39	0,07	650	2,2	22.370	37,1	672	60,6	23.733
Média	1,08	0,00	6,58	0,02	146	0,5	2.354	5,7	35.488	73,7	16.810	20,2	54.806

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro.

Para o Mn (Quadro 11), os valores de Mn trocável (Mn- Tro) foram os mais altos dentre todos os nutrientes em estudo, pois variaram de 4,56 a 3,90 mg/kg ou o equivalente a 1,0 até 38,5 % do Mn total do solo, com média de 12,7 %. Esses dados concordam com os obtidos por Shuman (1985) e Sims (1986), com destaque principalmente para os solos de baixo pH. O Mn sofre profundas modificações em seus teores com a diminuição do pH, com o aumento da atividade de elétrons (Lindsay, 1979) e com o próprio manuseio da amostra de solo no campo e no laboratório. Shuman (1980) e Borket et al. (2001) mostraram que a temperatura, a umidade, a insolação, o teor de matéria orgânica, a secagem e o tempo de armazenamento das amostras alteram sensivelmente os teores extraídos de Mn do solo.

**Quadro 11. Teores e percentuais de manganês em diversas frações químicas (Tro - trocável; MO - matéria orgânica; OxMn - óxido de Mn; OxFeA - óxido de Fe amorfo e OxFeC - cristalino; Res – residual; e Tot - total) de 15<sup>(1)</sup> solos de Minas Gerais**

Solo	Tro		MO		OxMn		OxFeA		OxFeC		Res		Tot
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg
LVA-AC	6,12	25,1	0,48	2,0	1,62	6,6	2,20	9,0	6,10	25,0	7,88	32,3	24,4
C-CU	7,40	9,2	0,66	0,8	1,57	2,0	1,80	2,2	3,22	4,0	65,60	81,8	80,24
LVA-EG	7,17	18,7	1,24	3,2	4,61	12,0	6,08	15,8	4,47	11,6	14,88	38,7	38,45
CI-FO	6,61	5,6	0,75	0,6	2,87	2,4	2,27	1,9	6,52	5,5	99,31	83,9	118,33
C-VII	6,55	23,5	0,54	1,9	2,25	8,1	3,15	11,3	3,63	13,1	11,73	42,1	27,84
LVA-VII	10,05	9,9	1,03	1,0	6,83	6,7	12,17	11,9	21,05	20,6	50,99	49,9	102,12
RU-SF	10,51	1,6	8,19	1,2	478,43	70,9	37,55	5,6	46,15	6,8	93,64	13,9	674,47
LVA-BA	4,56	24,5	0,66	3,5	5,08	27,3	1,73	9,3	4,08	22,0	2,49	13,4	18,6
LV-BO	6,42	5,1	0,81	0,7	11,13	8,9	14,63	11,6	21,87	17,4	70,95	56,4	125,82
LV-BII	6,56	2,8	0,76	0,3	6,11	2,6	5,25	2,3	10,00	4,3	204,29	87,7	232,96
LV-CO	5,25	5,8	0,08	0,1	2,83	3,1	2,07	2,3	13,25	14,6	67,21	74,1	90,69
LVA-BV	8,45	14,0	0,37	0,6	4,14	6,9	3,47	5,7	13,65	22,6	30,38	50,3	60,46
LV-SL	9,04	4,6	11,82	6,0	50,77	25,9	26,55	13,6	33,97	17,4	63,62	32,5	195,76
LVdf-SSP	12,85	1,0	2,34	0,2	43,89	3,4	27,57	2,2	63,27	5,0	1.124,57	88,2	1.274,47
LVA-JP	13,90	38,5	0,57	1,6	4,89	13,5	5,17	14,3	10,20	28,3	1,37	3,8	36,09
Média	8,10	12,7	2,02	1,6	41,80	13,4	10,11	7,9	17,43	14,5	127,26	49,9	206,71

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro.

Os teores de Mn ligados à matéria orgânica (Mn-MO) variaram de 0,08 a 11,82 mg/kg ou 0,1 a 6,0 % do Mn total, com média de 1,6 %. Segundo Barber (1995), o Mn pode ser complexado e retido pelos colóides orgânicos do solo, apesar das constantes de estabilidades serem menores para Mn que para o Cu, o Fe e o Zn. Esta fração também pode ser facilmente reduzível, liberando o Mn para a solução do solo, pois o Mn<sup>4+</sup> pode receber elétrons da oxidação da matéria orgânica pela microbiota do solo e este processo pode ser intensificado durante o destorroamento, secamento e armazenamento da amostra (Borkert et al., 2001).

Os teores de Mn nos óxidos de Mn do solo (Mn-OxMn) variaram de 1,57 até 478,43 mg/kg ou, em termos percentuais, de 2,0 a 70,9 % do Mn total do solo, com valores médios de 13,4 %. O solo RU-SF apresentou 70,9 % do Mn total nos óxidos de Mn; em seguida, os solos LVA-BA e o LV-SL apresentaram 27,3 e 25,9 %, respectivamente, de seu conteúdo total de Mn nesta fração. O LVdf-SSP

apresentou apenas 3,4 % de seu teor de Mn presente na fração óxido de Mn, apesar de apresentar o terceiro maior teor de Mn extraído do solo (43,89 mg/kg).

As frações de Mn oclusas em óxido amorfo (Mn-OxFeA) e cristalino (Mn-OxFeC) de Fe continham 7,9 e 14,5 %, respectivamente, dos teores totais de Mn. Quase metade do Mn total do solo estava ocluído na fração residual, na qual ele está presente no látice cristalino dos silicatos, dos óxidos de Al e dos óxidos de Fe cristalinos mais recalcitrantes.

Para o Zn (Quadro 12), apenas cinco solos apresentaram teores trocáveis (Zn-Tro) detectáveis. Eles variaram de 0,02 até 2,00 mg/kg, constituindo percentuais de 0,1 a 2,8 % do Zn total. Esta fração é a principal supridora do Zn disponível (Oliveira et al., 1999; Nascimento, 2001) e sua baixa concentração nos solos estudados torna mais clara a necessidade de aplicação desse nutriente para as plantas, principalmente se os solos forem calcareados, pois os teores tendem a se reduzir ainda mais (Shuman, 1986; Nascimento, 2001).

Os teores de Zn na fração matéria orgânica (Zn-MO) foram apenas 0,7 % do Zn total, com os teores variando de 0,01 a 0,84 mg/kg com percentuais de 0,0 a 2,7 % do Zn total. Shuman (1985) obteve maiores teores e Lindau & Hossner (1982) e Miller & McFee (1983) mostraram que a matéria orgânica pode conter apreciável quantidade de Zn. Quanto maiores o teor de matéria orgânica e o pH, geralmente maior é a quantidade de Zn adsorvida nos complexos orgânicos do solo (Shuman, 1991). Neste trabalho os solos tinham baixa reserva de carbono, eram ácidos (Quadro 4) e não receberam calagem.

Os teores de Zn oclusos nos óxidos cristalinos de Fe (Zn-OxFeC) foram maiores que os teores desse elemento ocluído ou ligado fortemente aos óxidos amorfos de Fe (Fe-OxFeA) e aos cristalinos de Mn (Zn-OxMn). Esses dados concordam com os de Shuman (1979, 1985) e provavelmente se devem mais a maior abundância relativa dos óxidos cristalinos de Fe no solo que à sua afinidade pelo Zn.

A fração residual (Zn-Res) ocluiu 84,9 % do Zn total do solo. Esses valores são concordantes com os de Iyengar et al. (1981), Shuman (1985), Xiang et al. (1995) e Nascimento (2001). O Zn pode ser ocluído ou muito fortemente

**Quadro 12. Teores e percentuais de zinco em diversas frações químicas (Tro - trocável; MO - matéria orgânica; OxMn - óxido de Mn; OxFeA - óxido de Fe amorfo e OxFeC - cristalino; Res - residual; e Tot - total) de 15 solos<sup>(1)</sup> de Minas Gerais**

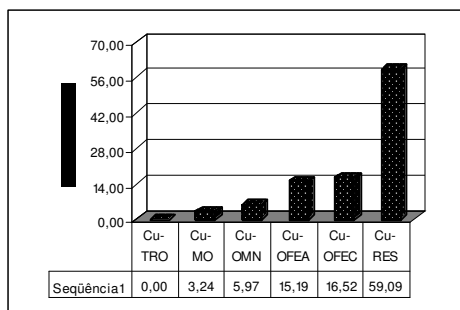
Solo	Tro		MO		OxMn		OxFeA		OxFeC		Res		Tot
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg
LVA-AC	2,00	2,4	0,60	0,7	2,13	2,6	1,13	1,4	4,33	5,3	72,28	87,6	82,48
C-CU	0,57	1,5	0,41	1,1	1,33	3,5	0,80	2,1	1,17	3,1	33,27	88,6	37,56
LVA-EG	0,00	0,0	0,12	0,3	0,82	2,3	0,48	1,4	1,27	3,5	33,18	92,5	35,87
CI-FO	0,02	0,1	0,18	0,5	1,30	3,8	0,82	2,4	3,08	9,0	28,93	84,3	34,33
C-VII	0,88	2,8	0,84	2,7	1,09	3,5	0,23	0,7	1,02	3,2	27,64	87,2	31,70
LVA-VII	0,38	1,1	0,30	0,8	1,07	3,0	0,20	0,6	2,58	7,4	30,54	87,1	35,07
RU-SF	0,00	0,0	0,66	1,2	3,35	6,1	1,53	2,8	11,58	21,2	37,46	68,6	54,59
LVA-BA	0,00	0,0	0,11	0,3	1,55	4,6	1,40	4,1	3,05	9,0	27,81	82,0	33,92
LV-BO	0,00	0,0	0,01	0,0	1,25	3,2	1,07	2,7	4,02	10,3	32,61	83,7	38,95
LV-BII	0,00	0,0	0,41	0,9	1,43	3,0	1,32	2,8	5,87	12,3	38,69	81,1	47,71
LV-CO	0,00	0,0	0,14	0,4	0,97	2,6	1,67	4,5	3,38	9,1	31,10	83,5	37,26
LVA-BV	0,00	0,0	0,11	0,3	0,92	2,4	0,47	1,2	4,08	10,7	32,74	85,4	38,32
LV-SL	0,00	0,0	0,24	0,4	2,04	3,1	1,33	2,0	5,50	8,3	57,28	86,3	66,39
LVdf-SSP	0,00	0,0	0,21	1,0	0,54	2,5	1,12	5,2	1,82	8,5	17,75	82,8	21,43
LVA-JP	0,00	0,0	0,15	0,1	1,01	0,7	0,97	0,7	8,40	5,6	139,06	93,0	149,59
<b>Média</b>	<b>0,26</b>	<b>0,5</b>	<b>0,30</b>	<b>0,7</b>	<b>1,39</b>	<b>3,1</b>	<b>0,97</b>	<b>2,3</b>	<b>4,08</b>	<b>8,4</b>	<b>42,69</b>	<b>84,9</b>	<b>49,68</b>

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro.

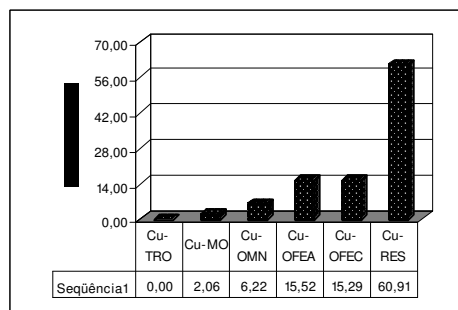
ligado nos minerais silicatados do solo, assim como nos óxidos de Fe e Al presentes na fração residual. O alto percentual de Zn retido na fração residual é uma das principais razões para a ocorrência de deficiência desse micronutriente nos solos cultivados (Xiang et al., 1995).

Analisando-se os teores dos diferentes micronutrientes em função dos teores de argila do solo e se usando o limite de 35 % de argila como critério de separação para as classes texturais analisadas (Oliveira et al., 1992), pode-se verificar que os elementos químicos se comportam diferentemente (Figura 1). Os teores de Cu tiveram uma contribuição ligeiramente maior da fração Cu-MO nos solos mais arenosos, enquanto as demais frações químicas seguiram padrões bastante parecidos, com predominância da fração Cu-Res, tanto nos solos arenosos como nos argilosos, com valores médios de 60,4 % do Cu total e amplitude de 32,1 a 85,8 % (Quadro 9). Shuman (1979) observou que os teores

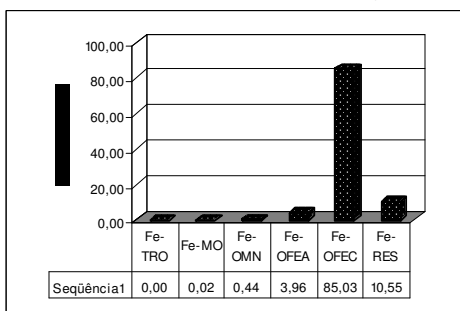
Solos com  $\leq 35\%$  de argila



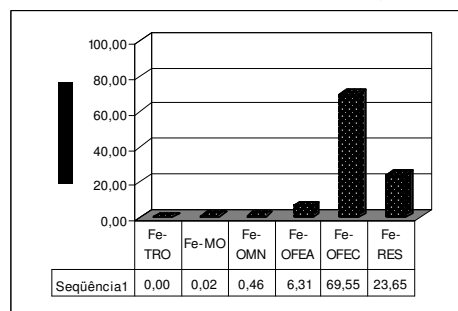
Solos com  $> 35\%$  de argila



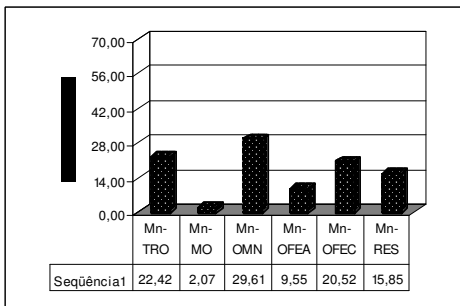
Solos com  $\leq 35\%$  de argila



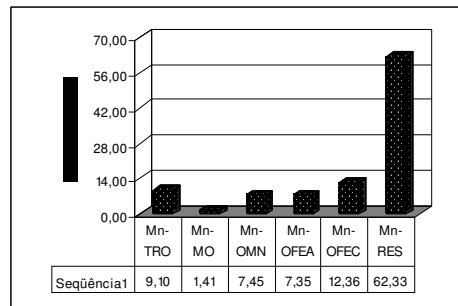
Solos com  $> 35\%$  de argila



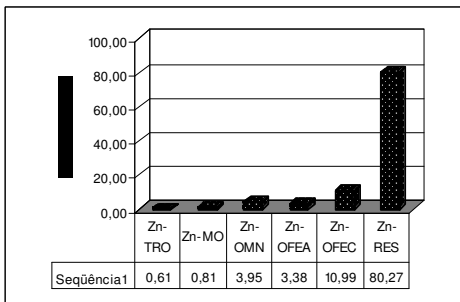
Solos com  $\leq 35\%$  de argila



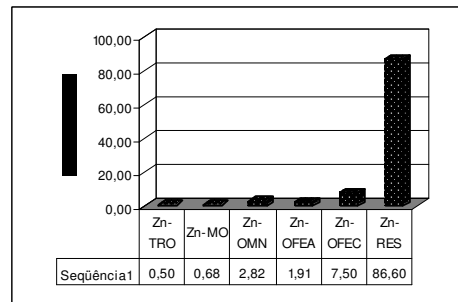
Solos com  $> 35\%$  de argila



Solos com  $\leq 35\%$  de argila



Solos com  $> 35\%$  de argila



**Figura 1. Percentuais dos totais de Cu, Fe, Mn e Zn em diferentes frações químicas, em função dos teores de argila dos solos.**

de Cu, Mn e Zn foram maiores nos solos mais argilosos e com maiores teores de matéria orgânica, em relação àqueles arenosos e de baixa CTC. Os solos argilosos apresentaram maior proporção de Cu e Zn na fração argila, em contraste com os mais arenosos, que tiveram relativamente maior percentagem desses micronutrientes na fração matéria orgânica. Na média dos oito solos estudados, a percentagem de Cu foi maior nas frações matéria orgânica e argila. Shuman (1985) mostrou que o Cu ocorreu primariamente nas frações silte, argila e óxido cristalino de Fe, frações constituintes do Cu-Res no presente trabalho.

As frações de Cu-OxFeC, Cu-OxFeA e Cu-OxMn mantiveram importantes reservas de Cu (média de 15,6, 15,4, e 6,2 %, respectivamente, Quadro 9) mostrando a capacidade deste elemento ser adsorvido e co-precipitado com os minerais de Fe e Mn do solo, como destacado por Shuman (1991) e Chesworth (1991). Gupta & Chen (1975) também encontraram altos valores de Cu-Res em amostras de sedimentos, porém nos solos arenosos o Cu estava associado principalmente com a fração óxido de Fe. Kuo et al. (1983) e LeRiche & Weir (1963) encontraram altos teores de Cu na fração Cu-OxMn. A fração Cu-Tro teve valores abaixo do limite de detecção do espectrofotômetro de absorção usado (0,0025 mg/L). Já a fração Cu-MO teve valores variáveis de 0,6 a 7,6 %, com média de 2,4 % do Cu total. Gomes et al. (1997) mostraram que os compostos de Cu no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico húmico têm alta estabilidade, inclusive resistindo à dissolução completa sob ataque de hipoclorito. É possível que esta forte estabilidade, juntamente com a alta capacidade de adsorção pelos óxidos de Fe, Mn e Al presentes e da caulinita (Barrow, 1985), tenha mantido este micronutriente em teores muito baixos nos solos em estudo, impedindo sua dosagem; além disso, o extrator utilizado tem a capacidade de precipitar nos queimadores do espectrofotômetro de absorção atômica, gerando um *background* (ruído) muito forte, o que diminui a capacidade de dosagem de valores muito baixo do elemento no extrato de  $Mg(NO_3)_2$  1 mol/L a pH 7,0. Nitratos e cloretos são os sais mais solúveis comumente usados, mas as soluções usadas são concentradas e podem precipitar facilmente nos queimadores dos espectrofotômetros. O  $Mg(Cl)_2$ , por exemplo, pode entupir os queimadores do

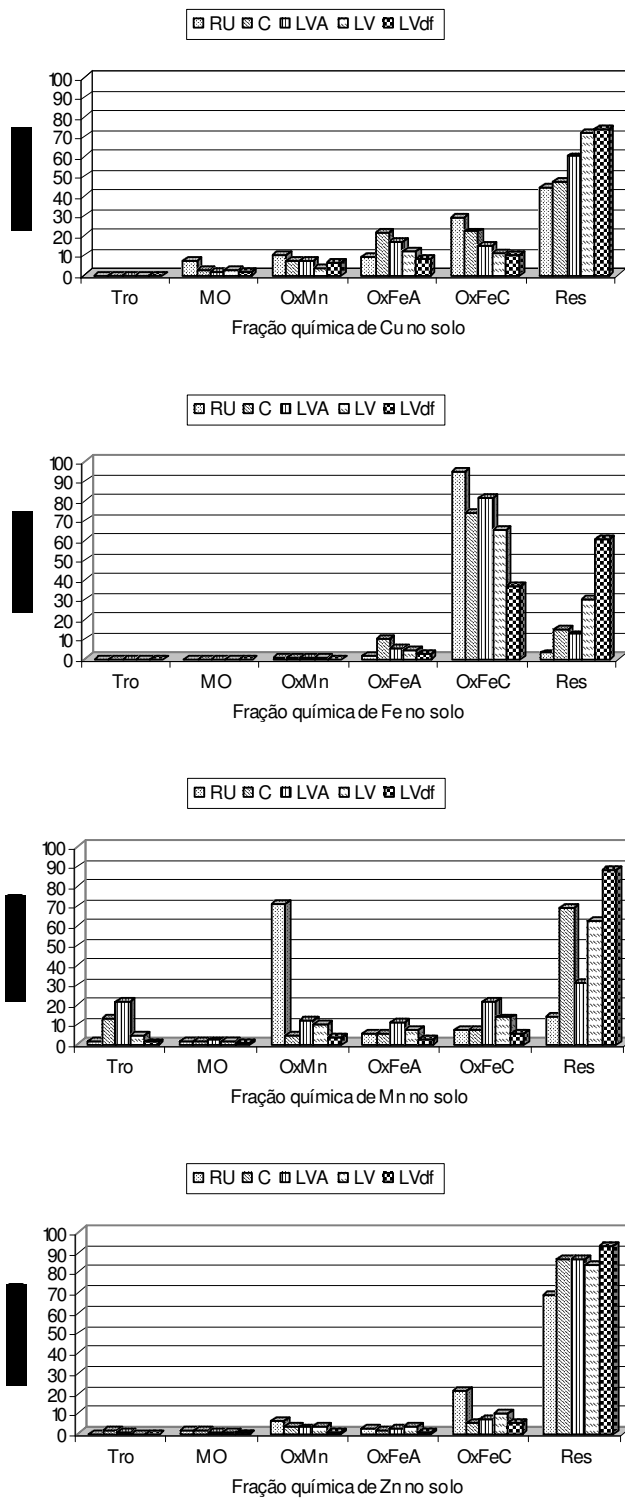
aparelho em concentrações de até 0,5 mol/L (Nielsen et al., 1987). Em relação ao  $Mg(NO_3)$ , não se encontrou referência a este respeito na literatura.

O Fe estava localizado principalmente na fração Fe-OxFeC, seguida das frações Fe-Res, Fe-OxFeA e Fe-OxMn (Figura 1 e Quadro 10). A participação da fração Fe-OxFeC aumentou com a diminuição dos teores de argila no solo, fato este que se deve à maior presença de minerais silicatados nos solos argilosos, componente complementar dos óxidos de Fe na fração argila. É provável, também, que a eficiência do extrator dos óxidos de Fe seja menor em solos mais argilosos, deixando maiores quantidades de óxidos para a fração Fe-Res. O teor de Fe trocável (Fe-Tro) e na matéria orgânica (Fe-MO) foi muito pequeno frente aos altos teores encontrados nas demais frações pesquisadas, principalmente os óxidos de Fe cristalinos. Os teores de Fe-OxFeA foram ligeiramente maiores nos solos mais argilosos, valores esses concordantes com aqueles apresentados por Shuman (1985).

Os valores para Mn foram os que mais variaram entre as duas texturas de solo comparadas (Figura 1 e Quadro 11). A distribuição do Mn foi relativamente mais homogênea nas diferentes frações encontradas que a distribuição dos demais micronutrientes. Houve uma contribuição aproximadamente igual do Mn-Tro, do Mn-OxMn, do Mn-OxFeA, do Mn-OxFeC e do Mn-Res ao total de Mn nos solos de textura média. Provavelmente, os altos valores de Mn (>70 %) na fração Mn-OxMn no Neossolo Flúvico tenham contribuído para destacar mais a diferença. Nos solos mais argilosos, a fração residual contribuiu com o valor médio de 62 % do Mn total. Os teores de Mn na fração orgânica (Mn-MO) foram muito baixos; esses valores são diferentes dos percentuais das diferentes frações de Mn no solo encontrados por Shuman (1985), nos quais os teores de Mn foram maiores nas frações Mn-OxMn e Mn-MO, na média de todos os solos, e foram maiores na fração areia para os solos mais arenosos. O cloridrato de hidroxilamina mostrou-se eficiente na caracterização da fração óxido de Mn, como também foi demonstrado por Lion et al. (1982) e Shuman (1982).

Os teores de Zn (Figura 1 e Quadro 12) tiveram distribuição parecida nos dois ambientes texturais testados; entretanto, nos solos mais argilosos um maior percentual do Zn está imobilizado na fração residual (Zn-Res) e nos solos arenosos, as contribuições percentuais das frações Zn-Tro, Zn-MO, Zn-OxMn, Zn-OxFeA e Zn-OxFeC foram ligeiramente maiores. Esses componentes químicos são de grande importância nos solos mais arenosos para garantir um abastecimento melhor do Zn na solução do solo, à disposição das raízes das plantas e para evitar perdas desse elemento por lixiviação. Nos solos mais argilosos, os maiores teores totais de Zn garantem um suprimento maior do micronutriente pelas frações encontradas quando elas têm a mesma participação percentual das frações obtidas nos solos mais arenosos. A forte associação do Zn com os óxidos de Fe, Al e com os minerais silicatados do solo é um fenômeno bem documentado (Shuman, 1979, 1985; Harrison et al., 1981; Iyengar et al., 1981; Kuo et al., 1983; Miller & McFee, 1983). Entretanto, as frações de óxidos de Mn são geralmente baixas em Zn, indicando que o elemento não se associa fortemente com esta fração (Shuman, 1985). No presente trabalho, mesmo quando 70 % dos óxidos de Mn foram extraídos pelo cloridrato de hidroxilamina, apenas 6,1 % do Zn total foram solubilizados (RU-SF, Quadro 12).

O Cu-Res é a maior fração do elemento nos solos estudados (Figura 2 e Quadro 9). Os valores percentuais desta fração foram crescentes na ordem RU (44 %), C (47 %), LVA (60 %), LV (71 %) e LVdf (74 %) indicando forte associação com os óxidos de Fe mais estáveis e com os silicatos presentes. Em seguida e exatamente em sentido contrário, essas classes de solo retiveram de 10 a 29 % do Cu na fração Cu-OxFeC. Os óxidos de Fe amorfo também retiveram grandes quantidades do Cu total (de 8 a 21 %), com destaque para os cambissolos, com os maiores percentuais encontrados. Shuman (1985) mostrou que os óxidos de Fe têm grande afinidade pelo Cu, concentrando as maiores frações do elemento. Esta concentração do Cu tanto pode ter ocorrido por reações de adsorção, formação de complexo de superfície, íon trocável, penetração do látice do cristal como por coprecipitação com os óxidos do solo (Shuman, 1991). O Cu tem a menor constante de associação da espécie química  $\text{CuOH}^+$  com os



**Figura 2. Percentuais dos teores totais de Cu, Fe, Mn e Zn em função de diferentes frações químicas e classes de solo utilizadas.**

colóides inorgânicos do solo, sendo mais forte e mais rapidamente adsorvido que o Fe, o Mn e o Zn (Barrow, 1985; Camargo, 1991; Camargo et al., 2001). O Cu também pode ocorrer em silicatos, substituindo isomorficamente o Al; assim, não é de estranhar que esta fração constitua a principal reserva de Cu dos solos mais intemperizados.

O RU foi o solo com maior percentual de Cu nas frações Cu-MO (7,6 %) e Cu-OxMn (9,8 %), as mais lábeis para as plantas, como será visto posteriormente. Isto reflete maior poder de suprimento de Cu desse solo; já os solos LVA tiveram os menores percentuais de Cu na fração Cu-MO, um importante compartimento de sua reserva para as plantas, refletindo na ocorrência de sintomas de deficiência nos solos mais críticos dessa classe, como será discutido mais adiante.

O Latossolo Vermelho distroférico tem, provavelmente, maior fração residual de Cu devido à forte estabilidade e à grande quantidade de minerais cristalinos de Fe presentes, ricos em elementos metálicos, além da baixa eficiência do extrator oxalato de amônio 0,2 mol/L + ácido oxálico 0,2 mol/L a pH 3,0 em 0,1 mol/L de ácido ascórbico. Apesar de ser extraído a uma temperatura de 85 °C, o poder redutor não é suficiente para extrair a totalidade dos óxidos de Fe presentes; além disso, o extrator mais indicado, o citrato-ditionito-bicarbonato (CBD), não pode ser utilizado para evitar a contaminação da amostra com Zn em extração conjunta de vários elementos (Shuman, 1982, 1985; Gomes et al., 1997).

A principal reserva de Fe no solo é aquela presente nos óxidos de Fe amorfos e, principalmente, nos cristalinos (Figura 2 e Quadro 10). Os minerais mais freqüentes são a hematita e a goethita, pois são os mais estáveis nas condições de solos tropicais (Fontes & Weed, 1991) e freqüentemente controlam ou influenciam fortemente os teores solúveis de Fe na solução do solo e sua disponibilidade para as plantas (Lindsay, 1979, Barber, 1995, Borkert et al., 2001). Os maiores teores de Fe-Res no Latossolo Vermelho distroférico e nos Latossolos Vermelhos foram devidos à baixa eficiência da solução extratora usada. Os solos mais ricos em Fe, como o Latossolo Vermelho distroférico e os

Latossolos Vermelhos, são originários de rochas básicas com altos teores originais desse elemento. Os menores valores de Fe estão nos solos arenosos oriundos de arenitos (Bataglia, 1991).

O Mn é o micronutriente com a maior variação percentual de suas frações dentro das diversas classes de solo (Figura 2 e Quadro 11). No Neossolo Flúvico utilizado, 70 % do Mn total estavam na fração Mn-OxMn, porém nos Cambissolos e nos Latossolos Vermelho distroférico e Vermelhos os maiores valores foram obtidos na fração residual (Mn-Res); já os Latossolos Vermelho-Amarelos tiveram uma distribuição mais homogênea do elemento nas diversas frações pesquisadas, inclusive tendo a fração trocável (Mn-Tro) maiores valores. É possível que esses solos tenham sofrido mais intensamente os efeitos do manuseio das amostras de solo e do seu preparo para a análise, como destacado por Borkert et al. (2001).

A maior parte do Zn nas diferentes classes de solo estava localizada na fração residual (Figura 2, Quadro 12); entretanto, os cambissolos apresentaram os maiores valores de Zn na fração trocável (Zn-Tro) e o Neossolo Flúvico, os maiores percentuais das frações Zn-OxMn e Zn-OxFeC.

#### **4.1.2. Correlações das frações de Cu, Fe, Mn e Zn com algumas características do solo**

Os nutrientes estão distribuídos no solo em diferentes frações químicas que podem ser caracterizadas por reagentes específicos. Apesar da possibilidade de um nutriente presente em mais de uma fração ter parte de seus valores solubilizados pelo mesmo reagente (Shuman, 1991), uma boa ou a maior parte da fração que se pretende atacar realmente é solubilizada pelo extrator utilizado. Assim, todos os esquemas de fracionamento propostos (MacLaren & Crawford, 1973a; Iyengar et al., 1981; Shuman, 1985; Gomes et al., 1997, Egreja Filho, 2000) mostram o relacionamento estreito entre os teores dos nutrientes na fração caracterizada e o valor daquela fração determinada por métodos padrões.

O Cu-Tro não apresentou teores em níveis suficientes para permitir sua detecção por absorção atômica, inviabilizando, assim, o estudo de correlação com

essa fração (Quadro 13); entretanto, a fração do Cu ligado à matéria orgânica (Cu-MO) foi alta e positivamente correlacionada com o pH, à soma de bases (SB) e à percentagem de saturação por bases trocáveis (valor V); e negativamente se correlaciona com a percentagem de saturação de alumínio trocável (m). Não houve correlação com a matéria orgânica do solo (MO). A matéria orgânica dos solos tropicais é o principal reservatório de cargas trocáveis (Raij, 1991b) e um forte adsorvente do Cu, cujos complexos com os ácidos húmicos apresentam grande estabilidade (Ferreira & Cruz, 1991; Barber, 1995; Gomes et al., 1997). Shuman (1985) encontrou correlação da fração Cu-MO com a matéria orgânica do solo. Provavelmente, a ausência de correlação apresentada neste estudo se deva à variação na qualidade da matéria orgânica dos solos trabalhados. A correlação positiva com o pH, com o SB e o V, além da correlação negativa com o Al trocável, pode estar refletindo o aumento da adsorção específica do Cu nos grupos funcionais R-COOH e R-OH da matéria orgânica e o aumento de seus teores nesses compartimentos. Desta forma, à medida em que o pH aumenta, ocorrem dissociação e liberação de carga com maior formação de complexo com a matéria orgânica, conforme foi verificado por McBride & Blasiak (1979). Paralelamente a este processo, ocorre um aumento nos teores de bases trocáveis nas posições de troca do colóide orgânico. Também houve alta correlação positiva do Cu-OxMn com os óxidos de Mn extraídos do solo, por ataque sulfúrico (MnO<sub>2</sub>) e por cloridrato de hidroxilamina (MnHid); provavelmente isto reflete o estreito equilíbrio existente entre esses dois compartimentos químicos do solo na dinâmica dos teores de Cu.

Fazendo-se o estudo da fração Cu-MO por correlação parcial e por regressão passo-a-passo (Quadros 14 e 15) com as propriedades do solo mais significativas em seu comportamento no solo, pode-se observar uma contribuição relativamente alta dos óxidos de Mn para a fração em estudo ( $r=0,83^{***}$ ). Ajustada a correlação para as demais propriedades, percebe-se a afinidade da matéria orgânica pela fração Cu-MO e o efeito negativo do pH sobre os seus teores de Cu.

Possivelmente, o aumento do pH aumente a adsorção de Cu sobre a superfície dos óxidos de Fe amorfos e de Mn e assim reduza competitivamente seu

**Quadro 13. Coeficientes de correlação linear simples dos teores das diferentes frações<sup>(1)</sup> de cobre no solo com os valores de algumas características químicas, físicas e mineralógicas**

Característica <sup>(2)</sup>	Cu-MO	Cu-OxMn	Cu-OxFeA	Cu-OxFeC	Cu-Res	Cu-Tot
pH água	0,73***	0,44*	0,27	0,46*	0,34 <sup>o</sup>	0,39 <sup>o</sup>
pH KCl	0,76***	0,45*	0,24	0,64**	0,25	0,34 <sup>o</sup>
MO	-0,01	-0,26	0,36 <sup>o</sup>	-0,14	0,20	0,15
SB	0,64**	0,18	0,41 <sup>o</sup>	0,19	0,37 <sup>o</sup>	0,38 <sup>o</sup>
T	-0,06	-0,29	0,40 <sup>o</sup>	-0,17	0,21	0,16
V	0,78***	0,35 <sup>o</sup>	0,18	0,47*	0,21	0,28
m	-0,83***	-0,59**	-0,52*	-0,59*	-0,61**	-0,65**
Prem	0,50*	0,21	-0,12	0,23	-0,05	0,00
SiO <sub>2</sub>	-0,10	-0,42 <sup>o</sup>	-0,03	-0,24	-0,15	-0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,02	0,08	0,38 <sup>o</sup>	0,13	0,38 <sup>o</sup>	0,35 <sup>o</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45*	0,67**	0,79***	0,66**	0,91***	0,91***
TiO <sub>2</sub>	0,43 <sup>o</sup>	0,78***	0,74***	0,66**	0,86***	0,88***
MnO <sub>2</sub>	0,77***	0,94***	0,65**	0,84***	0,77***	0,84***
Argila	-0,09	-0,11	0,31	0,00	0,34 <sup>o</sup>	0,28
EU	-0,17	-0,20	0,19	-0,14	0,05	0,02
Fed	0,43 <sup>o</sup>	0,58*	0,79***	0,62**	0,89***	0,88***
Feo	0,06	0,37 <sup>o</sup>	0,49*	0,42 <sup>o</sup>	0,52*	0,52*
Ald	-0,00	-0,07	0,38 <sup>o</sup>	0,13	0,42 <sup>o</sup>	0,37 <sup>o</sup>
Alo	-0,13	-0,15	0,25	-0,14	0,17	0,12
MnHid	0,89***	0,69**	0,38 <sup>o</sup>	0,74***	0,45*	0,54*
Caulinita	-0,10	-0,42 <sup>o</sup>	-0,03	-0,24	-0,15	-0,18
Gibbsita	0,03	0,34	0,46*	0,29	0,53*	0,51*
Hematita	0,38 <sup>o</sup>	0,53*	0,77***	0,55*	0,85***	0,83***
Goethita	-0,03	-0,10	-0,36 <sup>o</sup>	-0,08	-0,30	-0,28

<sup>(1)</sup> O Cu-Tro não foi detectado na análise (teor de Cu < 0,0025 mg/L). <sup>(2)</sup> MO – matéria orgânica; SB – soma de bases trocáveis; V – percentagem de saturação de bases trocáveis da CTC; T – CTC; m – saturação por Al<sup>3+</sup>; Prem – P remanescente; teores totais obtidos pelo ataque sulfúrico de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e MnO<sub>2</sub>; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina. °, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

**Quadro 14. Coeficientes de correlação linear simples e parcial e de determinação entre os teores das frações<sup>(1)</sup> de cobre e algumas propriedades selecionadas dos solos**

VARIÁVEL <sup>(2)</sup>		COEFICIENTE				
		Correlação		Determinação <sup>(3)</sup>		
Dependente	Independente	Simples	Parcial			
Cu-MO	pH água	0,73 <sup>***</sup>	-0,48 <sup>*</sup>	0,91 <sup>***</sup>		
	MO	-0,01	0,53 <sup>*</sup>			
	MnHid	0,89 <sup>***</sup>	0,83 <sup>***</sup>			
	Feo	0,06	-0,58 <sup>*</sup>			
	Fed	0,43 <sup>o</sup>	0,52 <sup>*</sup>			
Cu-OxMn	pH água	0,44 <sup>o</sup>	-0,53 <sup>*</sup>	0,75 <sup>**</sup>		
	MnHid	0,69 <sup>**</sup>	0,73 <sup>***</sup>			
	Feo	0,37 <sup>o</sup>	0,11			
	Fed	0,58 <sup>*</sup>	0,32			
Cu-OxFeA	pH água	0,27	0,11	0,62 <sup>***</sup>		
	Feo	0,49 <sup>*</sup>	-0,17			
	Fed	0,79 <sup>***</sup>	0,70 <sup>***</sup>			
	Alo	0,25	0,05			
	Ald	0,38 <sup>o</sup>	-0,23			
Cu-OxFeC	pH água	0,46 <sup>*</sup>	0,37 <sup>o</sup>	0,60 <sup>*</sup>		
	Fed	0,61 <sup>**</sup>	0,68 <sup>**</sup>			
	Ald	0,13	-0,40 <sup>o</sup>			
	Goethita	-0,08	0,32	0,50 <sup>*</sup>		
	Hematita	0,55 <sup>*</sup>	0,66 <sup>**</sup>			
	Gibbsita	0,29	-0,40 <sup>o</sup>			
	Caulinita	-0,24	-0,12			
	Cu-Res	MnHid	0,45 <sup>*</sup>		-0,22	0,85 <sup>***</sup>
		Fed	0,89 <sup>***</sup>		0,85 <sup>***</sup>	
Ald		0,42 <sup>o</sup>	-0,38 <sup>o</sup>			
Argila		0,34 <sup>o</sup>	-0,08			
Cu-Res	Goethita	-0,30	0,57 <sup>*</sup>	0,89 <sup>***</sup>		
	Hematita	0,85 <sup>***</sup>	0,91 <sup>***</sup>			
	Gibbsita	0,53 <sup>*</sup>	-0,68 <sup>**</sup>			
	Caulinita	-0,15	-0,05			

<sup>(1)</sup> O Cu-Tro não foi detectado na análise (teor de Cu < 0,0025 mg/L). <sup>(2)</sup> MO – matéria orgânica; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina; e minerais estimados por alocação. <sup>(3)</sup> Processo de *Backward*. <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*\*\*</sup>: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

**Quadro 15. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas frações<sup>(1)</sup> trocáveis (Tro), matéria orgânica (MO), óxido de Mn (OxMn), óxidos de Fe amorfo (OxFeA) e cristalino (OxFeC) e residual (Res) em função de algumas características químicas, físicas e mineralógicas selecionadas**

Fração	Equação múltipla <sup>(2)</sup>	R <sup>2</sup>
<b>Frações de Cobre</b>		
Cu-MO (mg/kg)	$\hat{Y} = 2,8+0,10^*MO - 0,56^{\circ}pH\acute{a}gua+0,02^{***}MnHid - 3,37^*Feo+0,07^*Fed$	0,91
Cu-OxMn (mg/kg)	$\hat{Y} = 9,98+0,05^{**}MnHid - 2,11^*pH\acute{a}gua+0,16^*Fed$	0,75
Cu-OxFeA (mg/kg)	$\hat{Y} = 1,47+0,45^{***}Fed$	0,62
Cu-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = -4,70+1,43^{\circ}Ald+1,51^{\circ}pH\acute{a}gua+0,73^{**}Fed$	0,60
Cu-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = 2,91+0,54^{**}HEMA - 0,16^{\circ}GIBBS+0,62^{\circ}GOETI$	0,50
Cu-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 3,81+6,35^{***}Fed - 8,38^*Ald$	0,85
Cu-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 10,79+4,30^{***}HEMA - 1,04^{**}GIBBS+3,47^{**}GOETI$	0,89
<b>Frações de Ferro</b>		
Fe-Tro (mg/kg)	$\hat{Y} = 13,42 - 0,03^{**}Argila+0,48^*SB-2,25^{***}pH\acute{a}gua$	0,71
Fe-MO (mg/kg)	$\hat{Y} = 0,81+2,81^{***}MO - 24,53^*Feo$	0,78
Fe-OxMn (mg/kg)	$\hat{Y} = 565,61+1,90^{**}MnHid - 101,48^*pH\acute{a}gua+520,90^*Feo-11,40^*Fed$	0,55
Fe-OxFeA (mg/kg)	$\hat{Y} = -352,51+13332,90^{***}Feo+1488,46^{**}Alo$	0,96
Fe-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = 7220,10+4298,61^{***}Fed+5609,98^{\circ}Ald$	0,88
Fe-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = 356,94+3152,26^{***}HEMA+3031,92^*GOETI+354,48^{\circ}CAULIN$	0,88
Fe-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 10797,60+12762,00^{***}Fed - 875,33^{**}Argila$	0,92
Fe-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 7072,60+5825,10^{***}HEMA+5360,93^{\circ}GOETI - 934,78^*CAULIN$	0,88
<b>Frações de Manganês</b>		
Mn-Tro (mg/kg)	$\hat{Y} = 39,08 - 0,88^{**}MO - 0,11^{**}m - 4,15^*pH\acute{a}gua$	0,71
Mn-MO (mg/kg)	$\hat{Y} = -1,77+1,47^{***}MO+0,08^{***}MnHid - 11,76^*Feo - 0,26^{\circ}Fed$	0,92
Mn-OxMn (mg/kg)	$\hat{Y} = 31,92 + 2,86^{***}MnHid-12,28^{**}Fed$	0,87
Mn-OxFeA (mg/kg)	$\hat{Y} = 24,00+0,25^{***}MnHid+0,42^{\circ}Fed$	0,89
Mn-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = -75,41+17,89^{***}pH\acute{a}gua+4,49^{***}Fed - 9,45^{**}Ald$	0,92
Mn-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = 8,02+3,45^{**}HEMA+5,02^*GOETI - 0,92^{\circ}GIBBS$	0,58
Mn-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 175,46+102,64^{***}Fed - 154,37^*Ald - 5,59^*Argila$	0,84
Mn-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 326,03+28,59^{***}HEMA - 12,99^{**}CAULIN$	0,68
<b>Frações de Zinco</b>		
Zn-Tro (mg/kg)	$\hat{Y} = 6,72 - 0,02^{**}Argila - 1,14^*pH\acute{a}gua+0,29^{\circ}SB$	0,50
Zn-MO (mg/kg)	$\hat{Y} = 2,10+0,005^*MnHID - 0,33^{\circ}pH\acute{a}gua - 2,02^{**}Feox$	0,51
Zn-OxMn (mg/kg)	$\hat{Y} = 1,40+0,01^{**}MnHID - 0,07^{\circ}Fed$	0,54
Zn-OxFeA (mg/kg)	$\hat{Y} = -1,67+1,17^*Alo+0,45^*pH\acute{a}gua$	0,48
Zn-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = -14,25+3,44^{**}pH\acute{a}gua+0,34^*Fed$	0,63
Zn-OxFeC (mg/kg)	$\hat{Y} = 4,21+0,53^{**}HEMA - 0,20^{\circ}GIBBS+0,61^{\circ}GOETI$	0,43
Zn-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 52,46+9,99^{***}Fed - 0,68^{\circ}Argila - 14,10^{\circ}Ald$	0,72
Zn-Res (mg/kg)	$\hat{Y} = 67,69 - 1,47^{**}CAULIN+2,82^{**}HEMA$	0,65

<sup>(1)</sup> O Cu-Tro não foi detectado na análise (teor de Cu < 0,0025 mg/L). <sup>(2)</sup> MO – matéria orgânica (dag/kg); SB – soma de bases trocáveis (cmol/dm<sup>3</sup>; m – saturação por Al<sup>3+</sup>(%); argila – argila total (%); Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito (dag/kg); Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia (dag/kg); MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina (mg/kg); e GIBBS – gibbsita, CAULIN – caulinita, GOETI – goethita e HEMA - hematita estimados por alocação (dag/kg). Processo de *Backward*. °, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

conteúdo na matéria orgânica, como foi observado por Nascimento (2001). Os solos mais ricos em Fe tendem a aumentar os teores de Cu na fração Cu-MO, provavelmente por apresentarem maiores teores de Cu (Quadro 9) e de carbono orgânico. Em geral, quanto maior o teor de Fe maior o teor de argila e de matéria orgânica (Quadro 4). No quadro 15 foi ajustada uma equação de regressão com cinco componentes cuja variação explicou 91 % da variação dos teores de Cu na matéria orgânica dos solos.

A fração Cu-OxMn foi altamente correlacionada (Quadro 13) com os teores de Mn extraídos com ataque sulfúrico ( $\text{MnO}_2$ , 0,94<sup>\*\*\*</sup>) e com hidroxilamina (MnHid, 0,69<sup>\*\*</sup>). Isto mostra a efetividade da hidroxilamina na solubilização dos óxidos de Mn dos solos (Chao, 1972; Shuman, 1985). As variações nos valores de pH, de Fe extraídos por ditionito (Fed) e de MnHid explicaram 75 % da variação dos valores de Cu da fração Cu-OxMn (Quadros 14 e 15). Provavelmente, o pH teve correlação parcial negativa por aumentar a competitividade da adsorção do Cu por outros componentes do solo; já o Fed teve correlação positiva por causa da ocorrência natural de maiores teores de Mn com o aumento dos teores de Fe (Resende et al., 1988; Chesworth, 1991; Shuman, 1991). A hematita (Quadro 13) presente no solo teve grande influência no aumento dos teores de Mn nos Latossolos Vermelho distroférico e Vermelhos distróficos utilizados.

A fração Cu-OxFeA foi significativamente correlacionada com os teores de óxidos amorfos de Fe do solo, como esperado (Quadro 13). Entretanto, fazendo-se o ajuste com as características mais prováveis de estarem envolvidas no controle dessa fração no solo, observou-se que os óxidos cristalinos de Fe explicaram 62 % da variação dos teores de Cu-OxFeA observados (Quadros 14 e 15). Isto ocorreu, possivelmente, devido à presença do Latossolo Vermelho distroférico, que tinha um valor muito diferente de Fe cristalino (13 dag/kg) em relação aos demais (sempre <7,5 dag/kg). Shuman (1991) acredita que o oxalato de amônio 0,2 mol/L + ácido oxálico 0,2 mol/L a pH 3,0, no escuro, remova sobretudo os óxidos amorfos de Fe. Shuman (1982) recomendou esse extrator

para separar as frações de Cu, Fe, Mn e Zn oclusas nos óxidos amorfos de Fe em relação às frações oclusas nos óxidos de Mn e nos óxidos cristalinos de Fe. Na sistematização do esquema de fracionamento com 16 solos diferentes e com dois horizontes (A e B) o autor mostrou que o extrator era efetivo para a fração determinada (Shuman, 1985).

A fração Cu-OxFeC foi correlacionada positivamente com o pH e com o Fed. Cerca de 60 % da variação do Cu encontrado estavam relacionados com a variação dos valores de Fed, Ald e pH, sendo o Fed a variável mais explicativa. Provavelmente a hematita (Quadros 13, 14 e 15) seja o principal óxido de Fe ocluindo o Cu nos solos estudados.

Semelhante à fração Cu-OxFeC, a variação dos valores da fração Cu-Res pode ser explicada pela correlação com os óxidos de Ferro cristalino, dos quais a hematita foi a que mais explicou as variações dos teores de Cu encontrados (Quadros 13, 14 e 15). O Cu pode substituir outros elementos metálicos na estrutura dos silicatos (Shuman, 1991); entretanto, é fortemente atraído pelos óxidos cristalinos de Fe e Al (Shuman, 1985, 1991; Chesworth, 1991). O melhor extrator de Fe cristalino do solo é o CBD, como proposto por Mehra & Jackson (1960), mas esta extração não pode ser usada em esquema de fracionamento com extração simultânea de vários metais, por conter Zn no ditionito (Shuman, 1982). A solução de ácido ascórbico a 0,1 mol/L com oxalato de amônio 0,2 mol/L + ácido oxálico 0,2 mol/L, a pH 3,0, aquecida a 85 °C, provavelmente não tem a mesma eficiência de extração, sobretudo em condições de solos tropicais com óxidos de Fe de grande estabilidade. Esta solução deixa muito óxido cristalino não solubilizado que vai constituir a fração residual. Assim, provavelmente a hematita não dissolvida pode estar controlando os teores de Cu encontrados na fração residual desta pesquisa.

Pode-se observar que os teores de Cu das diversas frações nos solos estudados são altamente correlacionados entre si (Quadro 16). Deste modo, é provável que a especificidade dos reagentes seja reduzida para as frações de Cu no solo e que cada extrator retire parte considerável dos teores existentes nas frações vizinhas. Curiosamente, há um aumento nos coeficientes de correlação na

**Quadro 16. Coeficientes de correlação linear simples das diferentes frações<sup>(1)</sup> de cobre no solo entre si e com os valores dos índices de disponibilidade Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA pH 7,3**

	Cu-OxMn	Cu-OxFeA	Cu-OxFeC	Cu-Res	Cu-Tot	M1	M3	DTPA
----- Considerando todos os solos na análise -----								
Cu-MO	0,65**	0,67**	0,77***	0,61**	0,69**	0,69***	0,86***	0,70***
Cu-OxMn	-	0,57*	0,78***	0,71**	0,77***	0,96***	0,79***	0,93***
Cu-OxFeA		-	0,57*	0,86***	0,88***	0,67***	0,38 <sup>o</sup>	0,75***
Cu-OxFeC			-	0,62**	0,72**	0,80***	0,85***	0,80***
Cu-Res				-	0,89***	0,79***	0,45*	0,83***
Cu-Tot					-	0,85***	0,56*	0,88***
M1						-	0,78***	0,98***
M3							-	0,74***
----- Considerando apenas 12 solos na análise <sup>(2)</sup> -----								
Cu-MO	0,18	0,93***	0,59*	0,70**	0,78**	0,81***	0,73**	0,89***
Cu-OxMn	-	0,19	0,22	0,04	0,13	0,32	0,43 <sup>o</sup>	0,16
Cu-OxFeA		-	0,64**	0,69**	0,79**	0,78**	0,71**	0,92***
Cu-OxFeC			-	0,62*	0,73**	0,47 <sup>o</sup>	0,56*	0,63*
Cu-Res				-	0,98***	0,50*	0,54*	0,55*
Cu-Tot					-	0,58*	0,63*	0,66**
M1						-	0,80***	0,74**
M3							-	0,73**

<sup>(1)</sup> O Cu-Tro não foi detectado na análise (teor de Cu < 0,0025 mg/L). <sup>(2)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. <sup>o</sup>, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

comparação das frações mais lábeis (ex. Cu-OxMn com Cu-OxFeA,  $r=0,57^*$ ) até as mais estáveis (ex. Cu-Res com Cu-Tot,  $r=0,89^{***}$ ) indicando uma dificuldade crescente de discriminar essas frações, à medida em que se aumenta o poder de extração. Tal dificuldade é removida, em parte, quando se retiram os solos que apresentam valores muito discrepantes (Quadro 16). Hou et al. (1996) mostraram que nos esquema de fracionamento os reagentes menos agressivos são usados inicialmente e os mais agressivos sucessivamente, até o ataque total na amostra do solo; assim, é possível que as primeiras frações discriminem melhor seus valores em relação às frações subseqüentes. Este fato foi demonstrado por MacLarem & Crawford (1973a).

Em geral, as características estudadas dos solos apresentaram correlação negativa com os teores de Fe-Tro (Quadros 17, 18 e 15). Segundo Lindsay (1979, 1991), a solubilidade do Fe em solução diminui em 1000 vezes para cada aumento de uma unidade de pH e é aumentada em condições de alta atividade de elétrons. O pH foi o fator que apresentou a maior correlação negativa com os teores trocáveis de Fe no solo (Fe-Tro) (Quadro 17); entretanto, o teor de argila

**Quadro 17. Coeficientes de correlação linear simples dos teores das diferentes frações de ferro no solo com os valores de algumas características químicas, físicas e mineralógicas**

Característica <sup>(1)</sup>	Fe-Tro	Fe-MO	Fe-OxMn	Fe-OxFeA	Fe-OxFeC	Fe-Res	Fe-Tot
pH água	-0,62**	-0,12	0,14	-0,17	0,03	0,22	0,16
pH KCl	-0,58*	-0,04	0,42 <sup>o</sup>	-0,01	0,19	0,25	0,25
MO	-0,09	0,82***	0,17	0,67**	0,45*	0,21	0,32
SB	-0,41 <sup>o</sup>	0,40 <sup>o</sup>	0,10	-0,03	0,10	0,17	0,15
T	-0,04	0,84***	0,11	0,66**	0,44*	0,23	0,33
V	-0,48*	-0,09	0,31	-0,33	-0,04	0,04	0,01
m	0,62**	-0,00	-0,14	-0,01	-0,25	-0,48*	-0,43 <sup>o</sup>
Prem	-0,16	-0,39 <sup>o</sup>	0,05	-0,74***	-0,39 <sup>o</sup>	-0,26	-0,34
SiO <sub>2</sub>	0,17	0,25	0,31	0,07	0,07	-0,34	-0,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,15	0,28	0,22	0,73***	0,69**	0,41 <sup>o</sup>	0,55*
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,57*	-0,04	0,06	0,69**	0,89***	0,94***	0,99***
TiO <sub>2</sub>	-0,44*	-0,20	0,03	0,60**	0,74***	0,95***	0,95***
MnO <sub>2</sub>	-0,49*	-0,31	0,22	0,26	0,47*	0,80***	0,74***
Argila	-0,20	0,27	0,09	0,59*	0,70**	0,27	0,45*
EU	0,08	0,40 <sup>o</sup>	0,32	0,64**	0,38 <sup>o</sup>	0,07	0,20
Fed	-0,59*	0,06	0,10	0,73**	0,92***	0,93***	0,91***
Feo	-0,25	0,13	0,29	0,96***	0,66**	0,70**	0,71**
Ald	-0,43 <sup>o</sup>	0,41 <sup>o</sup>	0,10	0,73***	0,76***	0,43 <sup>o</sup>	0,59**
Alo	-0,19	0,56*	0,04	0,72**	0,48*	0,28	0,39 <sup>o</sup>
MnHid	-0,54*	-0,23	0,37 <sup>o</sup>	-0,11	0,17	0,16	0,37 <sup>o</sup>
Caulinita	0,17	0,25	0,31	0,07	0,07	-0,34	-0,21
Gibbsita	-0,27	0,18	0,08	0,81***	0,76***	0,66**	0,76***
Hematita	-0,44 <sup>o</sup>	0,13	0,15	0,76***	0,91***	0,85***	0,94***
Goethita	-0,31	-0,32	-0,29	-0,50*	-0,44*	-0,27	0,36 <sup>o</sup>

<sup>(1)</sup> MO – matéria orgânica; SB – soma de bases trocáveis; V – percentagem de saturação de bases trocáveis da CTC; T – CTC; m – saturação por Al<sup>3+</sup>; Prem – P remanescente; teores totais obtidos pelo ataque sulfúrico de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e MnO<sub>2</sub>; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina. <sup>o</sup>, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

do solo, assim como a sua qualidade (presença de hematita e óxido de Mn), teve correlação negativa com os teores de Fe-Tro (Quadro 17 e 18). Em geral, cada aumento em uma unidade de pH e de argila diminui os teores de Fe-Tro em 2,25 e 0,03 mg/kg, respectivamente. Cada cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de bases trocáveis permite a ocorrência de 0,48 mg/kg de Fe-Tro (Quadro 15).

Os teores de Fe na fração Fe-MO correlacionaram-se com os teores de matéria orgânica do solo (Quadros 17 e 18), porém os teores de Fe nesta fração podem ser diminuídos pelo aumento dos teores de óxido de Fe amorfo (Quadro 15). O extrator utilizado mostrou-se eficiente na caracterização desta fração, como já demonstrado por Shuman (1985).

**Quadro 18. Coeficientes de correlação linear simples e parcial e de determinação entre os teores das frações de ferro e algumas propriedades selecionadas dos solos**

VARIÁVEL <sup>(1)</sup>		COEFICIENTE				
Dependente	Independente	Correlação		Determinação <sup>(2)</sup>		
		Simples	Parcial			
Fe-Tro	pH	-0,62**	-0,56*	0,71**		
	SB	-0,41 <sup>o</sup>	0,52*			
	m	0,62**	0,25			
	MO	-0,09	-0,08			
	Argila	-0,20	-0,62**			
Fe-MO	pH	-0,12	-0,20	0,78***		
	MO	0,82***	0,88***			
	MnHid	-0,23	0,24			
	Feo	0,12	-0,31			
	Fed	0,06	-0,34 <sup>o</sup>			
Fe-OxMn	pH	0,14	-0,54*	0,55 <sup>o</sup>		
	MnHid	0,37 <sup>o</sup>	0,67**			
	Feo	0,29	0,57*			
	Fed	0,09	-0,54*			
Fe-OxFeA	pH	-0,17	-0,29	0,96***		
	Feo	0,96***	0,94***			
	Fed	0,73**	-0,06			
	Alo	0,73**	0,55*			
	Ald	0,73***	0,14			
Fe-OxFeC	pH	0,03	-0,09	0,88***		
	Fed	0,92***	0,83***			
	Ald	0,76***	0,40 <sup>o</sup>			
	Goethita	-0,44*	0,50*			
	Hematita	0,91***	0,84***			
	Gibbsita	0,76***	0,01			
	Caulinita	0,07	0,40 <sup>o</sup>			
	Fe-Res	MnHid	0,37 <sup>o</sup>		-0,37 <sup>o</sup>	0,92***
		Fed	0,90***		0,95***	
		Ald	0,43 <sup>o</sup>		-0,45*	
Argila		0,27	-0,67***			
Goethita		-0,27	0,47*			
Hematita		0,85***	0,85***			
Gibbsita		0,66**	-0,22			
Caulinita		-0,34	-0,51*			

<sup>(1)</sup> SB – soma de bases; m – saturação por Al<sup>3+</sup>; MO – matéria orgânica; argila – argila total; EU – equivalente de unidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina; e minerais estimados por alocação. <sup>(2)</sup> Processo de *Backward*. <sup>o</sup>, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

Os teores de Fe nas frações de Fe-OxFeA, Fe-OxFeC e Fe-Res foram correlacionados significativamente com os teores dos óxidos de Fe amorfos (Feo), cristalinos (Fed) e de argila, assim como com os teores de gibbsita, hematita e goethita (Quadro 17). As características selecionadas dos solos explicaram razoavelmente bem os valores encontrados (Quadros 18 e 15). Além disso, poucas foram as correlações positivas quando se comparam os teores das frações de Fe entre si (Quadro 19), cujos resultados confirmam os dados de fracionamentos obtidos por vários autores (MacLaren & Crawford, 1973a; Iyengar et al., 1981; Shuman, 1979, 1985; Gomes et al., 1997) e demonstram, também, ser razoável a utilização dos reagentes especificados e das condições de extração usadas para a caracterização das frações dos metais ocluídos nos óxidos de Fe e nos minerais silicatados do solo.

As frações iniciais de Fe caracterizadas não tiveram correlação entre si, porém as frações mais estáveis foram mais bem correlacionadas entre si (Quadro 19); assim, a metodologia mostrou ser eficiente para caracterizar e discriminar as principais frações de Fe, possibilitando um estudo mais acurado de sua dinâmica no solo, mesmo quando foram retirados os solos com dados discrepantes (Quadro 19).

De modo geral, as diferentes frações de Mn se correlacionaram bem com as características do solo que refletem sua presença, quantidade ou qualidade no solo (Quadros 20, 21 e 15).

A fração Mn-Tro está relacionada principalmente com o pH e a matéria orgânica do solo (Quadros 20 e 21), com a soma de bases trocáveis (SB) e a saturação por  $Al^{3+}$ , as quais refletem as condições do meio e a influência do pH na percentagem de cargas elétricas geradas nas superfícies dos colóides. Ela também se correlaciona diretamente com os teores de MnHid. Apesar da correlação simples positiva indicar uma relação direta entre os teores de Mn-Tro e o pH (Quadro 20), a correlação parcial (Quadro 21), assim como os estudos de regressão (Quadro 15), mostra que essas características têm efeito negativo sobre os teores de Mn da fração Mn-Tro. Provavelmente, o aumento do pH diminui a solubilidade do Mn diretamente na solução do solo (Lindsay, 1979) e aumenta sua

**Quadro 19. Coeficientes de correlação linear simples das diferentes frações de ferro no solo entre si e com os valores dos índices de disponibilidade Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA pH 7,3**

	Fe-MO	Fe-OxMn	Fe-OxFeA	Fe-OxFeC	Fe-Res	Fe-Tot	M1	M3	DTPA
----- Considerando todos os solos na análise -----									
Fe-Tro	0,24	0,05	-0,19	-0,61**	-0,47*	-0,55*	0,79***	0,73***	0,57*
Fe-MO	-	0,05	0,27	-0,00	-0,01	0,00	0,08	0,22	0,58*
Fe-OxMn		-	0,32	0,16	-0,01	0,06	0,21	0,54*	0,28
Fe-OxFeA			-	0,69**	0,59*	0,68**	0,18	0,06	0,33
Fe-OxFeC				-	0,69**	0,86***	-0,36 <sup>o</sup>	-0,32	0,04
Fe-Res					-	0,96***	-0,23	-0,38 <sup>o</sup>	-0,11
Fe-Tot						-	-0,29	-0,38 <sup>o</sup>	-0,06
M1							-	0,79***	0,56*
M3								-	0,79***
----- Considerando apenas 12 solos na análise <sup>(1)</sup> -----									
Fe-Tro	0,32	0,28	-0,22	-0,63*	-0,47 <sup>o</sup>	-0,60*	0,75**	0,68**	0,40 <sup>o</sup>
Fe-MO	-	0,38 <sup>o</sup>	0,32	0,04	0,44 <sup>o</sup>	0,27	0,15	0,54*	0,80***
Fe-OxMn		-	0,79**	0,36	0,34	0,41 <sup>o</sup>	0,59*	0,79**	0,74**
Fe-OxFeA			-	0,62*	0,51*	0,65**	0,16	0,34	0,47 <sup>o</sup>
Fe-OxFeC				-	0,64*	0,91***	-0,41 <sup>o</sup>	-0,12	0,26
Fe-Res					-	0,90***	-0,33	0,08	0,50*
Fe-Tot						-	-0,39 <sup>o</sup>	-0,01	0,43 <sup>o</sup>
M1							-	0,84***	0,42 <sup>o</sup>
M3								-	0,82***

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*\*\*</sup>: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

adsorção nos complexos orgânicos (Barber, 1995; Nascimento, 2001). De forma idêntica, o aumento dos teores de matéria orgânica proporciona o aumento de ligantes que quelatam o Mn e o torna adsorvido especificamente e, assim, diminuem os teores de Mn trocáveis. Essas duas características, associadas à distribuição de cargas ou de elementos trocáveis, explicam 71 % da variação dos valores de Mn encontrados (Quadros 21 e 15).

Os teores de Mn da fração Mn-MO estão relacionados diretamente com os teores de matéria orgânica e de óxido de Mn, tendo o pH ligeira influência no aumento dos teores Mn-MO no solo, provavelmente por aumentar a formação de quelatos insolúveis ou suas constantes de estabilidade (Quadro 21); entretanto, o aumento dos teores de óxidos de Fe amorfo ou cristalino diminui os teores de Mn-MO, possivelmente por competição pelos sítios de adsorção específica ou coprecipitação, as quais se acentuam com o aumento do pH do solo. Esses fatores explicam 92 % da variação dos teores de Mn-MO encontrados (Quadros 21 e 15).

**Quadro 20. Coeficientes de correlação linear simples dos teores das diferentes frações de manganês no solo com os valores de algumas características químicas, físicas e mineralógicas**

Característica <sup>(1)</sup>	Mn-Tro	Mn-MO	Mn-OxMn	Mn-OxFeA	Mn-OxFeC	Mn-Res	Mn-Tot
pH água	0,55*	0,79***	0,78***	0,87***	0,73**	0,26	0,58*
pH KCl	0,16	0,65**	0,85***	0,79***	0,68**	0,25	0,59*
MO	-0,46*	0,33	-0,32	-0,03	-0,04	-0,08	-0,19
SB	0,41 <sup>o</sup>	0,97***	0,47*	0,74***	0,57*	0,08	0,30
T	-0,44 <sup>o</sup>	0,23	-0,42 <sup>o</sup>	-0,12	-0,11	-0,08	-0,23
V	0,53*	0,81***	0,91***	0,85***	0,65**	0,09	0,48*
m	-0,64**	-0,82**	-0,66**	-0,92***	-0,87***	-0,48*	-0,73**
Prem	0,61**	0,43 <sup>o</sup>	0,75***	0,53*	0,34	-0,08	0,25
SiO <sub>2</sub>	-0,23	0,16	-0,14	-0,17	-0,30	-0,45*	-0,45*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,38 <sup>o</sup>	0,01	-0,37 <sup>o</sup>	-0,06	0,10	0,22	0,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25	0,07	-0,09	0,37 <sup>o</sup>	0,67**	0,83***	0,71***
TiO <sub>2</sub>	0,30	-0,04	-0,06	0,34 <sup>o</sup>	0,67**	0,94***	0,81***
MnO <sub>2</sub>	0,55*	0,34 <sup>o</sup>	0,47*	0,75***	0,916***	0,90***	0,99***
Argila	-0,31	-0,06	-0,42 <sup>o</sup>	-0,19	-0,03	0,05	-0,12
EU	-0,49*	0,08	-0,37 <sup>o</sup>	-0,17	-0,16	-0,09	-0,23
Fed	0,18	0,11	-0,10	0,36 <sup>o</sup>	0,63**	0,74***	0,63**
Feo	-0,15	-0,07	-0,26	0,10	0,32	0,59**	0,42 <sup>o</sup>
Ald	-0,33	0,01	-0,32	-0,11	0,06	-0,27	0,15
Alo	-0,56*	0,09	-0,36 <sup>o</sup>	-0,13	-0,06	0,06	-0,09
MnHid	0,55*	0,71**	0,87***	0,94***	0,86***	0,46*	0,79***
Caulinita	-0,23	0,16	-0,14	-0,17	-0,30	-0,45*	-0,45*
Gibbsita	-0,31	-0,08	-0,35 <sup>o</sup>	0,03	0,29	0,51*	0,32
Hematita	0,10	0,87	-0,17	0,28	0,55*	0,69**	0,55*
Goethita	0,23	0,40	0,33	0,14	0,01	-0,19	-0,03

<sup>(1)</sup> MO – matéria orgânica; SB – soma de bases trocáveis; V – percentagem de saturação de bases trocáveis da CTC; T – CTC; m – saturação por Al<sup>3+</sup>; Prem – P remanescente; teores totais obtidos pelo ataque sulfúrico de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e MnO<sub>2</sub>; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina. <sup>o</sup>, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1 % de probabilidade pelo teste F.

Os teores de Mn da fração Mn-OxMn são controlados diretamente pela quantidade de óxido de Mn (MnHid), porém os teores de Fed, por serem negativamente correlacionados com o Mn-OxMn, reduzem os teores de Mn medidos nesta fração (Quadro 21). Provavelmente, a coprecipitação do Mn com o Fe ou a sua substituição isomórfica nos óxidos de Fe (Shuman, 1991) diminui a quantidade de óxido de Mn formada nos solos e, também, os teores extraídos com hidroxilamina. Os óxidos de Mn (MnHid) e de Fe cristalinos (Fed) do solo são responsáveis por 87 % da variação dos teores de Mn extraídos (Quadro 21).

Os teores de Mn-OxFeA não se correlacionaram com os teores de óxido amorfo de Fe (Feo), mas ocorreu correlação positiva com o pH do meio e com os teores de Fed e de MnHid (Quadro 20). O aumento do pH pode favorecer a

**Quadro 21. Coeficientes de correlação linear simples e parcial e de determinação entre os teores das frações de manganês e algumas propriedades selecionadas dos solos**

VARIÁVEL <sup>(1)</sup>		COEFICIENTE			
Dependente	Independente	Correlação		Determinação <sup>(2)</sup>	
		Simples	Parcial		
Mn-Tro	pH	0,55*	-0,52*	0,71**	
	SB	0,41 <sup>o</sup>	0,39 <sup>o</sup>		
	M	-0,64**	-0,60**		
	MO	-0,46*	-0,74***		
	Argila	-0,31	0,32		
Mn-MO	pH	0,79***	0,40 <sup>o</sup>	0,92***	
	MO	0,33	0,91***		
	MnHid	0,71**	0,70**		
	Feo	-0,08	-0,51*		
	Fed	0,11	-0,45*		
Mn-OxMn	pH	0,78***	-0,23	0,87***	
	MnHid	0,87***	0,81***		
	Feo	-0,26	-0,06		
	Fed	-0,10	-0,51*		
Mn-OxFeA	pH	0,87***	0,27	0,89***	
	Feo	0,10	-0,06		
	Fed	0,36 <sup>o</sup>	0,40 <sup>o</sup>		
	Alo	-0,14	0,19		
	Ald	-0,11	-0,31		
	MnHid	0,96***	0,60**		
Mn-OxFeC	pH	0,73**	0,87***	0,92***	
	Fed	0,63**	0,90***		
	Ald	0,06	-0,73**		
		Goethita	0,01	0,45*	0,58*
		Hematita	0,55*	0,71**	
		Gibbsita	0,29	-0,42 <sup>o</sup>	
		Caulinita	-0,30	-0,16	
	Mn-Res	MnHid	0,46*	-0,22	0,84***
		Fed	0,74***	0,89***	
		Ald	0,16	-0,60**	
Argila		0,05	-0,53*		
		Goethita	-0,19	0,15	0,68**
		Hematita	0,69**	0,64**	
		Gibbsita	0,51*	-0,18	
		Caulinita	-0,45*	-0,54*	

<sup>(1)</sup> SB – soma de bases trocáveis; m – percentagem de saturação de Al<sup>3+</sup>; MO – matéria orgânica; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina; e minerais estimados por alocação. <sup>(2)</sup> Processo de *Backward*. <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*\*\*</sup>: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

precipitação do Mn, juntamente com o Fe, em uma fase amorfa. A solubilidade do Fe no solo é controlada pelos minerais presentes (hematita e goethita) como sugerido por Lindsay (1979). Os óxidos amorfos podem ocorrer como cobertura desses óxidos cristalinos. Assim, a quantidade de óxido de Fe amorfo está correlacionada com a abundância dos óxidos de Fe livre, o que explica a correlação encontrada entre a fração Fe-OxFeA e o Fed, mas a análise de correlação parcial (Quadros 15 e 21) mostra que apenas as quantidades de Fed e, sobretudo, os teores MnHid se correlacionam com o Mn-OxFeA, sendo responsáveis por 89 % da variação do Mn-OxFeA medido. Chao (1972) mostrou que o cloridrato de hidroxilamina 0,1 mol/L solubilizada em HNO<sub>3</sub> 0,01 mol/L, a pH 2,0, extrai apenas 85 % dos óxidos de Mn e 5 % dos óxidos de Fe de vários sedimentos, após um tempo de equilíbrio de 30 min. Esta fração é retirada antes da extração dos óxidos de Fe amorfo; desta forma, é possível que a correlação encontrada seja devido ao restante dos óxidos de Mn, não extraído pelo cloridrato de hidroxilamina, que é solubilizado pelo oxalato de amônio 0,2 mol/L + ácido oxálico 0,2 mol/L, pois este extrator tem forte capacidade de redução, complexação e dissolução dos óxidos de Mn, mesmo quando a extração é feita no escuro (Shuman, 1982).

A fração Mn-OxFeC correlacionou-se positivamente com o pH, com os diversos teores de Mn e Fe, com o de óxido de titânio e hematita, entre outros, e negativamente com a saturação de alumínio trocável (Quadro 20). Esses fatores refletem o ambiente químico de desenvolvimento e cristalização dos óxidos cristalinos de Fe. Aparentemente, aqueles ambientes mais ricos em Fe e Mn proporcionaram condição para uma cristalização maior de ambos os óxidos, assim como de um óxido de Fe rico em átomos de Mn substituindo isomorficamente o Fe nas células cristalinas. Nos quadros 21 e 15 pode-se notar que o pH aumentou as quantidades de Mn presentes na fração Mn-OxFeC e que a extração dos óxidos de Fe cristalinos com a solução de oxalato de amônio 0,2 mol/L + ácido oxálico 0,2 mol/L em ácido ascórbico 0,1 mol/L, a pH 3, aquecida a 85 °C, foi efetiva na extração dos minerais de Fe presentes. A hematita foi a maior responsável pela ocorrência do Mn na fração Mn-OxFeC, seguida pela goethita (Quadros 21 e 15);

ademais, o Latossolo Vermelho distrófico trabalhado pode conter quantidades importantes de magnetita, as quais podem estar sendo medidas, juntamente com a hematita; as altas quantidades totais de micronutrientes encontradas neste solo (Quadro 3) concordam com a riqueza esperada em micronutrientes nos óxidos de Fe citados (Resende et al., 1988).

A fração Mn-Res, à semelhança da fração Mn-OxFeC, correlacionou-se positivamente com os diversos teores dos óxidos medidos e, negativamente, com os teores de argila do solo (Quadros 20, 21 e 15). Os teores residuais de óxidos de Fe cristalino, principalmente hematita, não extraídos na fração anterior, controlaram os teores verificados nesta fração. Com o aumento dos teores de argila e, principalmente, de caulinita, houve decréscimo nos teores de Mn medidos da fração Mn-Res (Quadros 15); isto ocorre, provavelmente, pela diminuição relativa dos teores de Fe livre quando aumentam os teores de caulinita, os quais são os principais componentes da fração argila, pois aqueles têm maiores teores de Mn em substituição isomórfica nos seus minerais que a caulinita. As correlações negativas entre o Mn-Res e os teores de argila, caulinita e Al-ditionito (Ald) e positivas entre o Mn-Res e o Fed e a hematita (Quadro 21) favorecem essa interpretação.

O quadro 22 ressalta que as diferentes frações de Mn foram altamente correlacionadas entre si, à exceção das frações Mn-MO e Mn-Tro. Como já discutido, este fato implica em uma discriminação menor das frações de Mn no solo pelos diferentes reagentes específicos utilizados; apenas o  $Mg(NO_3)_2$  1 mol/L extraiu especificamente a fração Mn-Tro e os demais reagentes extraíram, em graus variados, parte dos teores de Mn correspondentes às frações subsequentes. Com a retirada dos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP da análise, ocorre uma melhora na especificidade dos reagentes.

De modo geral, o esquema de fracionamento de Shuman (1985) discriminou as diferentes frações do Zn no solo, porém as correlações obtidas foram menores em relação aos demais micronutrientes (Quadros 23, 24, 15 e 25).

**Quadro 22. Coeficientes de correlação linear simples das diferentes frações de manganês no solo entre si e com os valores dos índices de disponibilidade Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA pH 7,3**

	Mn-MO	Mn-OxMn	Mn-OxFeA	Mn-OxFeC	Mn-Res	Mn-Tot	M1	M3	DTPA
----- Considerando todos os solos na análise -----									
Mn-Tro	0,30	0,30	0,55*	0,62**	0,46*	0,55*	0,55*	0,40°	0,59*
Mn-MO	-	0,59**	0,79***	0,58*	0,05	0,33	0,74***	0,61**	0,67**
Mn-OxMn		-	0,75***	0,54*	0,04	0,46*	0,88***	0,98***	0,88***
Mn-OxFeA			-	0,91***	0,45*	0,74***	0,93***	0,81***	0,91***
Mn-OxFeC				-	0,74***	0,91***	0,85***	0,66**	0,84***
Mn-Res					-	0,91***	0,43°	0,20	0,44*
Mn-Tot						-	0,76***	0,60**	0,77***
M1							-	0,94***	0,99***
M3								-	0,95***
----- Considerando apenas 12 solos na análise <sup>(1)</sup> -----									
Mn-Tro	0,15	0,13	0,27	0,27	-0,21	-0,10	0,94***	0,69**	0,92***
Mn-MO	-	0,43°	0,53*	0,04	0,08	0,15	0,19	0,02	0,02
Mn-OxMn		-	0,88***	0,75**	0,23	0,41°	0,38°	0,25	0,24
Mn-OxFeA			-	0,81***	0,13	0,33	0,45°	0,11	0,25
Mn-OxFeC				-	0,20	0,40°	0,42°	0,08	0,25
Mn-Res					-	0,98***	-0,26	-0,43	-0,23
Mn-Tot						-	-0,13	-0,35	-0,12
M1							-	0,79**	0,94***
M3								-	0,86***

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. °, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

**Quadro 23. Coeficientes de correlação linear simples dos teores das diferentes frações de zinco no solo com os valores de algumas características químicas, físicas e mineralógicas**

Característica <sup>(1)</sup>	Zn-Tro	Zn-MO	Zn-OxMn	Zn-OxFeA	Zn-OxFeC	Zn-Res	Zn-Tot
pH água	-0,36°	0,12	0,57*	0,44*	0,68**	0,24	0,30
pH KCl	-0,27	0,16	0,79***	0,59*	0,85***	0,26	0,34°
MO	-0,21	-0,40°	0,06	0,35°	0,01	0,04	0,04
SB	-0,23	0,07	0,52*	0,37°	0,51*	0,22	0,27
T	-0,18	-0,45*	-0,04	0,31	-0,05	0,05	0,04
V	-0,23	0,30	0,73**	0,41°	0,75***	0,13	0,21
m	0,30	-0,05	-0,53*	-0,40°	-0,78***	-0,51*	-0,57*
SiO <sub>2</sub>	-0,21	0,03	-0,14	-0,28	-0,25	-0,48*	-0,49*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,33	-0,44°	-0,27	0,09	-0,01	0,17	0,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,39°	-0,44*	-0,17	0,24	0,49*	0,72***	0,71**
TiO <sub>2</sub>	-0,30	-0,31	-0,20	0,16	0,46*	0,79***	0,78***
MnO <sub>2</sub>	-0,26	0,00	0,25	0,21	0,77***	0,80***	0,83***
Argila	-0,33	-0,45*	-0,35°	0,10	-0,09	0,00	-0,04
EU	-0,32	-0,31	-0,24	-0,07	-0,21	-0,14	-0,16
Fed	-0,40°	-0,48*	-0,14	0,31	0,49*	0,65**	0,65**
Feo	-0,39°	-0,59*	-0,23	0,09	0,19	0,49*	0,46*
Ald	-0,43°	-0,61**	-0,16	0,38°	0,14	0,11	0,11
Alo	-0,32	-0,51*	-0,11	0,47*	-0,05	0,07	0,06
MnHid	-0,25	0,23	0,66**	0,34°	0,88***	0,45*	0,52*
Caulinita	-0,21	0,03	-0,14	-0,28	-0,25	-0,48*	-0,49*
Gibbsita	-0,26	-0,53*	-0,24	0,26	0,13	0,48*	0,45*
Hematita	-0,30	-0,43°	-0,15	0,27	0,42°	0,64**	0,64**
Goethita	-0,21	0,03	0,11	-0,03	-0,00	-0,31	-0,29

<sup>(1)</sup> MO – matéria orgânica; SB – soma de bases trocáveis; V – percentagem de saturação de bases trocáveis da CTC; T – CTC; m – saturação por Al<sup>3+</sup>; Prem – P remanescente; teores totais obtidos pelo ataque sulfúrico de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e MnO<sub>2</sub>; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina. °, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

**Quadro 24. Coeficientes de correlação linear simples e parcial e de determinação entre os teores das frações de zinco e algumas propriedades selecionadas dos solos**

VARIÁVEL <sup>(1)</sup>		COEFICIENTE			
Dependente	Independente	Correlação		Determinação <sup>(2)</sup>	
		Simples	Parcial		
Zn-Tro	pH	-0,36 <sup>o</sup>	-0,59**	0,50*	
	SB	-0,23	0,35 <sup>o</sup>		
	m	0,30	-0,21		
	MO	-0,21	-0,15		
	Argila	-0,33	-0,54*		
Zn-MO	pH	0,12	-0,46*	0,51*	
	MO	-0,40 <sup>o</sup>	-0,14		
	MnHid	0,23	0,54*		
	Feo	-0,59*	-0,38 <sup>o</sup>		
	Fed	-0,48*	-0,31		
Zn-OxMn	pH	0,57*	-0,19	0,54**	
	MnHid	0,66**	0,54*		
	Feo	-0,24	0,01		
	Fed	-0,14	-0,31		
Zn-OxFeA	pH	0,44*	0,55*	0,48*	
	Feo	0,09	-0,38 <sup>o</sup>		
	Fed	0,30	0,16		
	Alo	0,47*	0,45*		
	Ald	0,38 <sup>o</sup>	0,12		
Zn-OxFeC	pH	0,68**	0,68**	0,63**	
	Fed	0,49*	0,45*		
	Ald	0,14	-0,07		
		Goethita	-0,00	0,29	0,43 <sup>o</sup>
		Hematita	0,42 <sup>o</sup>	0,63**	
		Gibbsita	0,13	-0,46*	
		Caulinita	-0,25	-0,14	
	Zn-Res	MnHid	0,45*	-0,14	0,72**
		Fed	0,65**	0,80***	
		Ald	0,11	-0,43 <sup>o</sup>	
Argila		-0,01	-0,45*		
		Goethita	-0,31	-0,24	0,65**
		Hematita	0,64**	0,51*	
		Gibbsita	0,48*	-0,18	
		Caulinita	-0,48	-0,66**	

<sup>(1)</sup> MO – matéria orgânica; argila – argila total; EU – equivalente de umidade; Fe – Fed e Al – Ald extraído com ditionito; Fe – Feo e Al – Alo extraídos com oxalato de amônia; MnHid – Mn extraído com cloridrato de hidroxilamina; e minerais estimados por alocação. <sup>(2)</sup> Processo de *Backward*. <sup>o</sup>, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

Os teores de Zn-Tro foram correlacionados negativamente com o pH do solo (Quadros 23 e 24). Ajustando-se a correlação com as variáveis com maior possibilidade de controlar os teores de Zn nesta fração, observou-se que o pH e o teor de argila se correlacionaram negativamente da mesma forma que a soma de bases trocáveis (SB) se correlacionou positivamente com o Zn-Tro (Quadro 24). A diminuição dos teores de Zn em solução é um fato conhecido devido à carga do íon  $Zn^{2+}$  que possibilita hidrólise e subsequente precipitação do elemento dissolvido, com diminuição de sua concentração a uma razão de 100 vezes para cada unidade de aumento no pH (Lindsay, 1979). Igualmente, com o aumento do pH ocorrem maior adsorção específica do Zn no solo (Barrow, 1985) e maior estabilidade dos complexos formados de Zn com a matéria orgânica (Abreu et al., 2001; Nascimento, 2001). McBride & Blasiak (1979) acreditam que a solubilidade do Zn em solos com  $pH > 5,5$  é controlada pela adsorção específica sobre os óxidos de Al e Fe. Seus dados confirmam o levantamento feito por Jenne (1968) que mostrou os óxidos de Fe e Mn controlando as concentrações de Cu, Mn e Zn nos solos. Estes fatores afetam os teores de Zn trocáveis, reduzindo-os. Os maiores teores de argila afetam negativamente os teores trocáveis pelo aparecimento de maior número de sítios de adsorção específica. Por outro lado, o aumento de carga elétrica do solo aumenta a possibilidade do Zn ser retido no solo por forças eletrostáticas, o qual explica, provavelmente, a baixa correlação do Zn-Tro com a SB dos solos (Quadro 24). Esses dados são concordantes com aqueles apresentados por Shuman (1985) e mostram que o  $Mg(NO_3)_2$  foi específico para a extração do Zn da fração Zn-Tro. As variáveis citadas explicaram apenas 50 % da variação dos valores de Zn-Tro encontrados (Quadro 24). É possível que isto reflita a ocorrência de Zn solúvel em formas complexadas ou quelatadas em compostos orgânicos cujos teores modificam o equilíbrio com os teores de Zn na superfície de troca (Souza & Ferreira, 1991; Barber, 1995). Assim, os valores de Zn extraídos se tornam diferentes daqueles efetivamente em equilíbrio com a superfície de troca do solo.

Os teores de Zn-MO apresentaram correlações negativas com os teores de matéria orgânica do solo e de argila (Quadro 23); entretanto, o estudo de correlação

**Quadro 25. Coeficientes de correlação linear simples das diferentes frações de zinco no solo entre si e com os valores dos índices de disponibilidade Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA pH 7,3**

	Zn-MO	Zn-OxMn	Zn-OxFeA	Zn-OxFeC	Zn-Res	Zn-Tot	M1	M3	DTPA
----- Considerando todos os solos na análise -----									
Zn-Tro	0,62**	0,20	-0,20	-0,20	0,16	0,15	0,86***	0,88***	0,95***
Zn-MO	-	0,49*	-0,12	0,15	-0,03	0,02	0,80***	0,72**	0,69**
Zn-OxMn		-	0,48*	0,71**	0,10	0,20	0,63**	0,60**	0,47*
Zn-OxFeA			-	0,51*	0,11	0,17	0,05	0,06	-0,01
Zn-OxFeC				-	0,51*	0,59**	0,22	0,20	0,08
Zn-Res					-	0,99***	0,16	0,17	0,21
Zn-Tot						-	0,21	0,21	0,24
M1							-	0,98***	0,96***
M3								-	0,98***
----- Considerando apenas 12 solos na análise <sup>(1)</sup> -----									
Zn-Tro	0,74**	0,66**	-0,13	-0,02	0,80***	0,77**	0,98***	0,98***	0,99***
Zn-MO	-	0,36	-0,30	-0,18	0,37	0,36	0,77**	0,68**	0,69**
Zn-OxMn		-	0,29	0,47 <sup>o</sup>	0,81***	0,83***	0,74**	0,74**	0,72**
Zn-OxFeA			-	0,49 <sup>o</sup>	0,15	0,21	-0,07	-0,03	-0,04
Zn-OxFeC				-	0,45 <sup>o</sup>	0,52*	0,10	0,11	0,11
Zn-Res					-	0,99***	0,82***	0,85***	0,86***
Zn-Tot						-	0,81***	0,83***	0,84***
M1							-	0,98***	0,99***
M3								-	0,99***

<sup>(1)</sup>Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

parcial mostrou que o pH está correlacionado negativamente com os teores de Zn-MO, assim como os teores de óxidos amorfos (Feo, Quadro 24); já os teores de óxidos de Mn (MnHid) tiveram correlação positiva mais elevada mostrando, possivelmente, uma estreita relação entre as frações Zn-MO e Zn-OxMn, com esta última controlando os teores da fração anterior, devido à sua maior concentração em Zn (Quadros 12 e 25). O aumento do pH do solo aumenta também a adsorção específica de Zn (Abreu et al., 2001; Nascimento, 2001) nos colóides do solo, porém com os componentes minerais e orgânicos competindo entre si pelo íon a ser adsorvido. Os óxidos de Fe amorfos são efetivos adsorventes do Zn, havendo aumento de sua afinidade com o aumento do pH do solo (Kalbasi et al., 1978; Kinniburgh, 1983; Assad & Nielsen, 1985). Os três fatores explicam 51% da variação dos teores de Zn-MO (Quadro 15). Shuman (1985) não encontrou correlação dessa fração com a matéria orgânica, entretanto as correlações com as demais características são concordantes com os dados apresentados neste trabalho.

A fração Zn-OxMn se correlacionou com os óxidos de Mn do solo (MnHid), mostrando que a hidroxilamina caracterizou efetivamente esta fração (Quadro 23), como recomendado por Shuman (1982). Os teores de MnHid, principalmente, e de Fed explicaram 54 % da variação dos valores de Zn-OxMn (Quadros 15 e 24). Esses dados confirmam as pressuposições de Shuman (1991) de que o Zn e o Fe são coprecipitados nos óxidos de Mn e estão presentes neles em quantidades significativas. Também Gadde & Laitinen (1974) afirmam que boa parte do Zn está ligada na forma não-trocável aos óxidos de Mn e de Fe do solo.

Os teores de Zn-OxFeA se correlacionaram com os valores de pH e de Alo (Quadro 23). O estudo de correlação parcial mostra que esses fatores explicam 48% da variação dos valores encontrados (Quadros 24 e 15). Dada a baixa correlação, porém positiva, encontrada com os valores de MnHid, os altos teores de Zn obtidos nesta fração (Quadro 12) e a conhecida eficiência do oxalato em extrair os óxidos de Mn residuais deixados pelo cloridrato de hidroxilamina, é possível que esses óxidos sejam importantes contribuintes para o Zn-OxFeA.

As variações dos valores de pH e dos teores de óxidos de Fe cristalinos (Fed), principalmente a hematita, foram as mais explicativas para as variações dos teores de Zn-OxFeC (Quadros 24 e 15) confirmando os dados obtidos por Shuman (1979, 1985). Os óxidos de Fe cristalinos também se mostraram importantes no controle do Zn-Res; entretanto, os teores crescentes de caulinita tendem a reduzir os teores de Zn encontrados nesta fração, provavelmente como consequência natural do maior teor de Zn nos óxidos de Fe, em especial na hematita e na magnetita, quando comparado com os teores presentes na caulinita (Resende et al., 1988). Além do mais, o aumento dos teores de Fe no solo em geral implica numa diminuição relativa dos teores dos minerais de argila silicatados.

O esquema de fracionamento utilizado mostrou ser efetivo na discriminação das frações de Zn no solo visto que as correlações significativas entre elas são pequenas e circunscritas às imediatamente vizinhas (Quadro 25). A retirada dos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP diminuíram ainda mais essas correlações mútuas. A alta correlação positiva entre as frações Zn-Tro e Zn-MO,

sugere que o Zn esteja ligado, em boa parte, por ligação eletrostática na matéria orgânica e que, em baixo pH, os complexos formados são de menor estabilidade.

#### **4.1.3. Correlações das frações de Cu, Fe, Mn e Zn com as formas disponíveis**

O conhecimento da distribuição dos teores dos nutrientes nas frações químicas do solo pode ser útil na identificação das frações dos elementos extraídos por diferentes métodos de extração da forma disponível e na discriminação das deficiências ou vantagens de cada método em particular (Nascimento, 2001).

A ordem de extração encontrada para Cu, Fe e Mn foi Mehlich-3 (M3)> Mehlich-1 (M1)> DTPA (Quadro 5) e M1>M3>DTPA para o Zn. Provavelmente, a ação de extração por dissolução ácida do M1 e M3 (Mehlich, 1984; Raij & Bataglia, 1991; Sims & Johnson, 1991) e de quelatação do DTPA pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978) explique os resultados encontrados. A presença do EDTA no M3 em meio ácido (pH 2,5) favorece maior extração de micronutrientes, por mantê-los quelatados na solução a medida em que a extração se processa por troca, dissolução ácida e complexação (Mehlich, 1984). A ação do EDTA sobre os micronutrientes evitando a re-adsorção dos elementos extraídos também tem sido discutida por alguns pesquisadores (Mazur, 1997; Egreja Filho, 2000) e, segundo Borggaard (1979), esse reagente pode solubilizar óxidos de Fe.

Devido à presença dos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP com valores muito discrepantes em relação aos demais solos trabalhados, os estudos de correlação e regressão foram executados na presença e na ausência desses solos.

Os extratores M1 e M3 apresentaram maior correlação entre si que com o DTPA na extração do Cu disponível (Quadro 16), considerando a análise com 12 solos, devido à ação de extração mais parecida entre M1 e M3, como discutido anteriormente. O M3, porém, teve correlação positiva com todas as frações de Cu, exceto com a Cu-Tro. O M1 e o DTPA não tiveram correlação com o Cu-OxMn. O DTPA mostrou as maiores e mais significativas correlações com as diferentes frações de Cu, sobressaindo-se as frações Cu-OxFeA e Cu-MO; em seguida, o M1 e

o M3 tiveram destacadas correlações com o Cu-MO e o Cu-OxFeA.

As equações de regressão múltiplas ajustadas (Quadro 26) entre os teores de Cu disponível pelos extratores M1, M3 e DTPA, assim como seus respectivos  $R^2$  parciais (Quadro 27), mostram que o Cu-MO foi a fração dominante no fornecimento de Cu para a forma disponível. Ela explicou 65, 53 e 80 %, respectivamente, dos teores extraídos por M1, M3 e DTPA mostrando que o Cu-MO é uma das principais frações químicas do solo que controlam os teores disponíveis de Cu para as plantas e que, provavelmente, o DTPA discriminou de modo mais preciso as reservas de Cu nativo neste compartimento, seguido pelo M1 e M3. Como indicado mais à frente, a fração Cu-MO explica grande parte da variação dos conteúdos de Cu nas plantas. Esses dados confirmam os resultados experimentais obtidos por MacLaren & Crawford (1973a), Shuman (1985, 1986), Sims (1986) e, mais recentemente, Nascimento (2001).

Na extração do Fe disponível os extratores M1 e M3 foram altamente correlacionados entre si ( $r=0,84^{***}$ , Quadro 19). O DTPA, por outro lado, teve baixa correlação com o M1 ( $r=0,42^0$ ) e alta com o M3 ( $r=0,83^{***}$ ). Provavelmente, o pH de extração do M3 (2,50) (Mehlich, 1984), próximo do pH do M1 (1,2), e a presença de um agente quelante (o EDTA) na sua composição, agindo de modo semelhante ao DTPA na extração dos metais (Lindsay & Norvell, 1978) no solo, seja a razão que torna o M3 um extrator misto com características parecidas com as dos demais extratores usados. Por outro lado, o pH de extração do DTPA (7,3) e sua ação extratora por quelatação são características que claramente o diferenciam do M1.

O M1 teve altas correlações significativas com o Fe-Tro e o Fe-OxMn, indicando que essas frações contribuem para o Fe disponível (Quadro 19). O M3, por sua vez, foi bem correlacionado com o Fe-OxMn, o Fe-Tro e o Fe-MO; já o DTPA se correlacionou estreitamente com o Fe-MO, o Fe-OxMn e o Fe-Res, mostrando que esses extratores acessam frações e proporções de frações diferenciadas. De fato, tanto o Fe quanto o Mn disponíveis sofrem intensamente a ação de algumas propriedades do meio, como o pH (Quadro 28) o qual deve ser considerado no modelo.

**Quadro 26. Equações de regressão múltipla entre os teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3 em função das frações químicas destes nutrientes (Tro – trocável; MO – matéria orgânica; OxMn – óxido de Mn; OxFeA – óxido de Fe amorfo; OxFeC – óxido de Fe cristalino; e Res – residual) e do pH (pH em água na relação 2:1) encontrados nos solos estudados**

Nutriente	Equação de Regressão Múltipla	R <sup>2</sup>
----- Considerando todos os solos no modelo -----		
<b>Mehlich-1 (em mg/dm<sup>3</sup>)</b>		
Cu	$\hat{Y} = -0,52 + 0,81^{***} \text{OxMn} + 0,02^* \text{Res}$	0,94
Fe	$\hat{Y} = 8,20 + 20,32^{***} \text{Tro} + 0,006^* \text{OxFeA}$	0,74
Mn	$\hat{Y} = -21,58 + 0,59^{**} \text{Tro} + 1,28^{***} \text{MO} + 0,09^{***} \text{OxMn} + 0,02^{***} \text{Res} + 3,76^{\circ} \text{pH}$	0,99
Zn	$\hat{Y} = 0,12 + 1,29^{***} \text{Tro} + 0,90^{**} \text{MO} + 0,63^{**} \text{OxMn}$	0,99
<b>Mehlich-3 (em mg/dm<sup>3</sup>)</b>		
Cu	$\hat{Y} = 0,42 + 2,33^{***} \text{MO} + 0,57^{**} \text{OxMn} - 0,56^{***} \text{OxFeA} + 0,19^* \text{OxFeC}$	0,98
Fe	$\hat{Y} = 671,00 + 1,08^{***} \text{OxMn} - 0,002^{**} \text{OxFeC} - 109,05^{***} \text{pH}$	0,93
Mn	$\hat{Y} = -20,60 + 0,20^{***} \text{OxMn} + 0,01^{***} \text{Res} + 4,34^{**} \text{Ph}$	0,99
Zn	$\hat{Y} = -0,52 + 1,64^{***} \text{Tro} + 0,72^{***} \text{OxMn}$	0,96
<b>DTPA pH 7,3 (em mg/dm<sup>3</sup>)</b>		
Cu	$\hat{Y} = -0,53 + 0,53^{***} \text{OxMn} + 0,18^{**} \text{OxFeA}$	0,93
Fe	$\hat{Y} = 141,56 + 1,85^{***} \text{MO} + 0,13^{**} \text{OxMn} - 27,11^{***} \text{pH}$	0,93
Mn	$\hat{Y} = -23,70 + 0,63^{***} \text{Tro} + 0,37^{**} \text{MO} + 0,06^{***} \text{OxMn} + 0,01^{***} \text{Res} + 4,18^{**} \text{pH}$	0,99
Zn	$\hat{Y} = -0,008 + 1,38^{***} \text{Tro} + 0,11^{***} \text{OxMn} + 0,07^{**} \text{OxFeC} - 0,002^* \text{Res}$	0,99
----- Considerando 12 solos no modelo <sup>(1)</sup> -----		
<b>Mehlich-1 (em mg/dm<sup>3</sup>)</b>		
Cu	$\hat{Y} = 0,21 + 0,72^{**} \text{MO}$	0,65
Fe	$\hat{Y} = 6,33 + 15,01^{**} \text{Tro} + 0,16^{\circ} \text{OxMn}$	0,71
Mn	$\hat{Y} = -2,51 + 0,60^{***} \text{Tro} + 0,20^{**} \text{OxMn} - 0,005^* \text{Res}$	0,97
Zn	$\hat{Y} = 0,48 + 1,62^{***} \text{Tro} + 0,76^{**} \text{MO} + 0,11^{***} \text{OxMn}$	0,98
<b>Mehlich-3 (em mg/dm<sup>3</sup>)</b>		
Cu	$\hat{Y} = 0,46 + 0,84^{**} \text{MO}$	0,53
Fe	$\hat{Y} = 55,58 + 45,92^{**} \text{Tro} + 0,99^{***} \text{OxMn}$	0,85
Mn	$\hat{Y} = -16,18 + 0,25^* \text{Tro} + 3,36^* \text{Ph}$	0,75
Zn	$\hat{Y} = -3,10 + 2,06^{***} \text{Tro} + 0,15^{**} \text{OxFeC} + 0,62^{\circ} \text{pH}$	0,99
<b>DTPA pH 7,3 (em mg/dm<sup>3</sup>)</b>		
Cu	$\hat{Y} = 0,19 + 0,79^{***} \text{MO}$	0,80
Fe	$\hat{Y} = 123,07 + 2,67^{**} \text{MO} + 0,11^* \text{OxMn} - 23,71^* \text{pH}$	0,92
Mn	$\hat{Y} = -15,27 + 0,62^{***} \text{Tro} + 2,64^{**} \text{pH}$	0,93
Zn	$\hat{Y} = 0,03 + 1,39^{***} \text{Tro} + 0,07^{**} \text{OxFeC}$	0,99

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. °, \*, \*\* e \*\*\*: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F. Utilizou-se o processo de *stepwise*. As frações estão expressas em mg/kg.

**Quadro 27. Valores de R<sup>2</sup> total e parcial para os coeficientes significativos dos modelos de regressão múltipla, para os extratores Mehlich-1(M1), Mehlich-3(M3) e DTPA, nas formas disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn**

Micro	Extrator	R <sup>2</sup> Total	R <sup>2</sup> Parcial						Res
			pH água	Tro	MO	OxMn	OxFeA	OxFeC	
----- Considerando-se todos os solos no modelo -----									
Cu	M1	0,94	-	-	-	0,91***	-	-	0,03*
	M3	0,97	-	-	0,74***	0,09**	0,12***	0,02*	-
	DTPA	0,93	-	-	-	0,86***	0,07**	-	-
Fe	M1	0,74	-	0,62***	-	0,12*	-	-	-
	M3	0,93	0,47**	-	-	0,29**	-	0,17*	-
	DTPA	0,93	0,55**	-	0,25**	0,13**	-	-	-
Mn	M1	0,99	<0,01 <sup>o</sup>	0,01**	0,07***	0,77***	-	-	0,15***
	M3	0,99	<0,01**	-	-	0,97***	-	-	0,03***
	DTPA	0,99	0,04**	0,01***	0,003*	0,78***	-	-	0,16***
Zn	M1	0,99	-	0,74***	0,02**	0,22***	-	-	-
	M3	0,96	-	0,78***	-	0,18***	-	-	-
	DTPA	0,99	-	0,90***	-	0,08 <sup>o</sup>	-	0,01**	0,002*
----- Considerando-se 12 solos no modelo <sup>(1)</sup> -----									
Cu	M1	0,65	-	-	0,65**	-	-	-	-
	M3	0,53	-	-	0,53**	-	-	-	-
	DTPA	0,80	-	-	0,80***	-	-	-	-
Fe	M1	0,71	-	0,56**	-	0,16 <sup>o</sup>	-	-	-
	M3	0,85	-	0,23**	-	0,63***	-	-	-
	DTPA	0,92	0,06*	-	0,64***	0,22**	-	-	-
Mn	M1	0,97	-	0,88***	-	0,07**	-	-	0,02*
	M3	0,75	0,58**	0,16*	-	-	-	-	-
	DTPA	0,93	0,09**	0,84***	-	-	-	-	-
Zn	M1	0,98	-	0,96***	0,01*	-	-	0,01*	-
	M3	0,99	0,01 <sup>o</sup>	0,96***	-	-	-	0,02*	-
	DTPA	0,99	-	0,98***	-	-	-	0,16*	-

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. <sup>o</sup>, \*, \*\* e \*\*\* : Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

**Quadro 28. Coeficientes de correlação linear simples entre os teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn, extraídos com Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3, com algumas características do solo**

Elemento	Característica do solo									
	pH	MO	P	SB	Al <sup>3+</sup>	Prem	Argila	Fed	Feo	MnHid
-----Mehlich-1-----										
Cu	0,49 <sup>*</sup>	-0,25	0,07	0,22	-0,60 <sup>**</sup>	0,23	-0,14	0,63 <sup>**</sup>	0,40 <sup>o</sup>	0,69 <sup>**</sup>
Fe	-0,63 <sup>**</sup>	-0,00	-0,30	-0,49 <sup>*</sup>	0,68 <sup>**</sup>	-0,37 <sup>o</sup>	-0,04	-0,32	0,19	-0,54 <sup>*</sup>
Mn	0,91 <sup>***</sup>	-0,20	0,46 <sup>*</sup>	0,68 <sup>**</sup>	-0,76	0,67 <sup>**</sup>	-0,33	0,23	-0,01	0,99 <sup>***</sup>
Zn	0,03	-0,20	0,01	0,07	-0,05	0,39 <sup>o</sup>	-0,45 <sup>*</sup>	-0,38 <sup>o</sup>	-0,45 <sup>*</sup>	0,17
-----Mehlich-3-----										
Cu	0,74 <sup>***</sup>	-0,37 <sup>o</sup>	0,14	0,39 <sup>o</sup>	-0,69 <sup>**</sup>	0,62 <sup>**</sup>	-0,36 <sup>o</sup>	0,29	0,04	0,95 <sup>***</sup>
Fe	-0,60 <sup>**</sup>	0,06	-0,33	-0,47 <sup>*</sup>	0,66 <sup>**</sup>	-0,26	-0,01	-0,37 <sup>o</sup>	0,02	-0,42 <sup>o</sup>
Mn	0,83 <sup>***</sup>	-0,34	0,29	0,50 <sup>*</sup>	-0,64 <sup>**</sup>	0,75 <sup>***</sup>	-0,44 <sup>*</sup>	0,01	-0,18	0,94 <sup>***</sup>
Zn	0,01	-0,27	-0,05	0,01	-0,02	0,39 <sup>o</sup>	-0,51 <sup>*</sup>	-0,40 <sup>o</sup>	-0,49 <sup>o</sup>	0,15
-----DTPA pH 7,3-----										
Cu	0,44 <sup>*</sup>	-0,17	0,09	0,21	-0,62 <sup>**</sup>	0,10	-0,07	0,71 <sup>**</sup>	0,49 <sup>*</sup>	0,65 <sup>**</sup>
Fe	-0,74 <sup>***</sup>	0,49 <sup>*</sup>	-0,18	-0,38 <sup>o</sup>	0,54 <sup>*</sup>	-0,62 <sup>**</sup>	0,40 <sup>o</sup>	0,01	0,21	-0,62 <sup>**</sup>
Mn	0,90 <sup>***</sup>	-0,28	0,38 <sup>o</sup>	0,62 <sup>**</sup>	-0,74 <sup>***</sup>	0,70 <sup>**</sup>	-0,38 <sup>o</sup>	0,22	-0,03	0,99 <sup>***</sup>
Zn	-0,14	-0,21	-0,10	-0,06	0,08	0,26	-0,40 <sup>o</sup>	-0,36 <sup>o</sup>	-0,42 <sup>o</sup>	0,01

<sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*\*\*</sup>: Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F.

Os modelos de regressão múltiplas indicam que as frações de Fe-Tro e Fe-OxMn explicaram em 56 e 16 %, respectivamente, as variações dos teores de Fe disponível extraídos por M1 (Quadros 26 e 27); e em 23 e 63 %, respectivamente, do Fe disponível extraído por M3. O DTPA foi o mais sensível ao pH do solo. A variação dos teores do Fe disponível estimado é explicada em 6 % pela variação dos valores de pH, em 64 % pela variação dos teores de Fe-MO e em 22 % pela variação dos teores de Fe-OxMn. Deste modo, observa-se que a reserva de Fe acessada pelos extratores é diferente em termos de frações e proporções extraídas; comportamento este que para o Fe torna difícil a seleção de um extrator para se estimar com exatidão o Fe disponível para a planta, como se verá mais adiante.

Os extratores M1, M3 e DTPA se correlacionaram estreitamente com a quase totalidade das frações de Mn medidas (Quadro 22); porém, com os 12 solos selecionados, pode-se observar que apenas a fração Mn-Tro teve correlações altamente significativas com os extratores. O M1, apesar de seu maior coeficiente de correlação com o Mn-Tro ( $r=0,94^{***}$ ), apresentou ligeira

correlação com as frações Mn-OxMn, Mn-OxFeA e Mn-OxFeC, indicando maior capacidade de solubilização das frações de Mn e, eventualmente, de retirar frações de baixa disponibilidade para as plantas, cuja possibilidade já foi demonstrada por Menezes (1998), Oliveira et al. (1999) e Nascimento (2001).

A estreita correlação entre o M1 e o DTPA ( $r=0,94^{***}$ , Quadro 22) ocorre devido à grande participação da fração Mn-Tro na explicação da variação dos teores do Mn disponível (> 84 %) extraídos por esses extratores (Quadros 26 e 27) apesar da participação de diferentes frações em cada um deles. A variação dos teores extraídos por M3, foi explicada em 58 % pela variação dos valores de pH do solo. A presença do pH no modelo, tanto para o M1 como para o DTPA, confirma a necessidade de se considerar esta propriedade na avaliação da fertilidade nesse micronutriente, como recomendado por Sims & Johnson (1991).

As relações dos teores de Zn disponível com os teores de suas frações químicas foram as menos influenciadas pela presença ou não dos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP na análise estatística dos dados (Quadros 25, 26 e 27). Todos os extratores se correlacionaram de forma idêntica com as diferentes frações de Zn (Quadro 25). Do mesmo modo, os extratores foram altamente correlacionados entre si e tais situações refletem o fato de que a fração trocável de Zn (Zn-Tro) explicou > 96 % da variação dos teores de Zn disponível extraído por qualquer um dos métodos testados (Quadros 26 e 27). Esses dados confirmam os resultados obtidos por Sims (1986), Shuman (1986), Oliveira et al. (1999) e Nascimento (2001).

## **4.2. Dinâmica das frações de Cu, Fe, Mn e Zn e sua disponibilidade em resposta à adição de micronutrientes**

### **4.2.1. Distribuições dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas diferentes frações químicas do solo em função dos tratamentos aplicados**

Nas médias dos dados, constata-se que a aplicação de  $2,0 \text{ mg/dm}^3$  de Cu permitiu uma distribuição diferenciada do nutriente nas diversas frações (Quadro 29). Apesar dos teores de Cu trocável, que envolve o Cu em solução e aquele

**Quadro 29. Teor de cobre nas diferentes frações químicas de 14 solos de Minas Gerais incubados sem micro (-M), isoladamente com 0,5, 2,0, 10,0, 5,0 e 5,0 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, e com todos os micronutrientes (+M)**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Cu ligado na Matéria Orgânica, em mg/kg -----															
-M	0,32 B	0,39 B	0,14 B	0,18 B	0,49 AB	0,48 B	1,58 A	0,18 B	0,69 B	1,10 A	0,20 A	0,62 A	0,70 A	1,07 A	0,58 B
+B	0,34 B	0,50 AB	0,17 B	0,31 AB	0,48 AB	0,47 B	1,33 A	0,25 AB	0,86 AB	1,08 A	0,16 A	0,59 A	0,69 A	1,16 A	0,60 B
+Cu	0,68 A	0,69 AB	0,39 AB	0,43 AB	0,76 AB	0,72 AB	1,82 A	0,50 A	1,18 AB	1,48 A	0,28 A	0,77 A	0,69 A	1,20 A	0,83 A
+Fe	0,35 AB	0,43 AB	0,18 AB	0,25 AB	0,45 AB	0,47 B	1,51 A	0,25 AB	0,91 AB	1,13 A	0,22 A	0,57 A	0,71 A	1,29 A	0,62 B
+Mn	0,30 B	0,37 B	0,18 AB	0,26 AB	0,48 AB	0,55 B	1,51 A	0,21 AB	0,77 AB	1,07 A	0,17 A	0,53 A	0,63 A	1,16 A	0,58 B
+Zn	0,32 B	0,38 B	0,20 AB	0,22 AB	0,43 B	0,54 B	1,49 A	0,35 AB	0,75 AB	1,14 A	0,14 A	0,52 A	0,62 A	1,19 A	0,59 B
+M	0,60 AB	0,76 A	0,47 A	0,48 A	0,80 A	0,98 A	1,63 A	0,49 A	0,96 B	1,38 A	0,40 A	0,64 A	0,91 A	1,16 A	0,83 A
Média	0,42 fg	0,50 ef	0,25 h	0,30 gh	0,56 def	0,60 de	1,55 a	0,32 gh	0,87 c	1,20 b	0,22 h	0,60 de	0,71 cd	1,18 b	0,66
----- Cu ocluso nos Óxidos de Manganês, em mg/kg -----															
-M	0,61 A	1,35 A	0,99 AB	0,56 A	1,43 A	1,12 A	4,07 A	0,22 A	0,46 A	0,44 A	0,34 A	0,90 A	0,31 A	6,08 A	1,35 B
+B	0,94 A	1,72 A	0,73 AB	0,93 A	1,30 A	0,93 A	4,35 A	0,16 A	0,47 A	0,64 A	0,37 A	0,81 A	0,39 A	6,01 A	1,41 AB
+Cu	1,34 A	2,21 A	1,50 AB	0,92 A	1,87 A	1,21 A	5,20 A	0,15 A	0,60 A	0,70 A	0,68 A	0,94 A	0,40 A	6,81 A	1,75 A
+Fe	0,86 A	1,26 A	0,63 B	0,87 A	1,16 A	1,12 A	4,29 A	0,10 A	0,32 A	0,57 A	0,49 A	0,49 A	0,36 A	6,29 A	1,34 B
+Mn	0,86 A	1,01 A	1,01 AB	0,69 A	1,43 A	0,89 A	4,18 A	0,12 A	0,54 A	0,68 A	0,47 A	0,26 A	0,46 A	6,23 A	1,34 B
+Zn	0,78 A	1,31 A	0,96 AB	0,83 A	1,25 A	0,84 A	4,38 A	0,10 A	0,49 A	0,56 A	0,28 A	0,41 A	0,50 A	5,71 A	1,31 B
+M	1,13 A	1,75 A	1,80 A	0,97 A	1,90 A	1,54 A	4,46 A	0,26 A	0,60 A	0,99 A	0,75 A	0,61 A	0,54 A	7,30 A	1,76 A
Média	0,93 de	1,52 c	1,09 cd	0,82 def	1,48 c	1,09 cd	4,42 b	0,16 h	0,50 fg	0,65 efg	0,48 fg	0,63 efg	0,42 gh	6,35 a	1,47
----- Cu ocluso nos Óxidos de Ferro Amorfo, em mg/kg -----															
-M	3,22 A	1,85 A	1,66 A	2,58 AB	1,91 A	2,65 A	2,85 A	1,92 AB	3,36 A	6,23 B	2,51 BC	3,33 AB	4,94 A	7,46 A	3,32 B
+B	2,57 AB	1,77 A	1,69 A	2,49 AB	1,72 A	2,07 A	2,85 A	1,78 AB	3,56 A	5,68 B	2,42 BC	3,48 AB	4,64 A	7,95 A	3,19 B
+Cu	2,54 AB	2,33 A	2,34 A	3,43 AB	1,98 A	3,09 A	2,33 A	3,12 A	4,56 A	6,37 B	3,58 AB	4,27 A	6,32 A	7,57 A	3,84 A
+Fe	2,52 AB	1,96 A	1,72 A	2,68 AB	2,05 A	2,59 A	2,23 A	2,04 AB	3,66 A	6,08 b	1,77 C	3,13 AB	5,39 A	7,27 A	3,22 B
+Mn	2,14 AB	1,70 A	1,74 A	2,21 AB	2,48 A	2,06 A	2,25 A	1,96 AB	3,88 A	6,70 B	1,84 C	2,37 B	5,09 A	7,72 A	3,15 B
+Zn	1,70 B	1,88 A	1,84 A	2,04 B	1,99 A	2,06 A	2,27 A	1,55 B	4,13 A	6,55 B	2,18 BC	3,03 AB	5,01 A	7,32 A	3,11 B
+M	3,30 A	2,45 A	2,85 A	3,59 A	1,95 A	2,33 A	2,53 A	2,76 AB	4,69 A	8,94 A	4,29 A	3,52 AB	6,40 A	7,04 A	4,04 A
Média	2,57 efg	1,99 gh	1,98 h	2,72 de	2,01 fgh	2,41 efgh	2,47 efgh	2,16 efgh	3,98 c	6,65 a	2,65 ef	3,30 cd	5,40 b	7,48 a	3,41

**Quadro 29, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Cu ocluso nos Óxidos de Ferro Cristalinos, em mg/kg -----															
-M	3,78 A	2,97 A	2,58 A	3,45 A	2,35 A	2,91 A	7,94 A	2,27 A	3,70 A	3,58 A	1,92 A	3,15 A	1,80 A	11,64 A	3,86 A
+B	3,44 A	2,62 A	2,96 A	3,20	2,02 A	2,29 A	7,51 A	2,26 A	3,84 A	3,20 A	1,74 A	2,49 A	1,74 A	10,11 A	3,53 A
+Cu	3,71 A	3,30 A	3,16 A	3,56 A	2,44 A	2,57 A	7,97 A	2,22 A	3,79 A	2,92 A	1,52 A	2,77 A	2,00 A	10,98 A	3,78 A
+Fe	3,29 A	2,99 A	2,69 A	3,28 A	2,82 A	3,02 A	7,87 A	2,22 A	3,33 A	2,29 A	1,85 A	2,46 A	2,12 A	10,26 A	3,61 A
+Mn	3,07 A	3,06 A	2,44 A	3,34 A	1,84 A	3,20 A	7,92 A	2,07 A	4,08 A	3,16 A	1,65 A	2,08 A	2,16 A	11,36 A	3,67 A
+Zn	2,96 A	2,01 A	2,94 A	2,92 A	1,94 A	2,36 A	7,58 A	2,46 A	3,70 A	2,54 A	1,67 A	2,60 A	2,12 A	9,87 A	3,41 A
+M	3,12 A	2,38 A	2,85 A	2,90 A	1,82 A	2,12 A	7,56 A	2,33 A	3,66 A	3,08 A	1,94 A	1,81 A	2,37 A	11,09 A	3,50 A
Média	3,34 bc	2,76 bcde	2,80 bcde	3,23 bcd	2,18 def	2,64bcdef	7,76 a	2,26 cdef	3,73 b	2,97 bcde	1,76 f	2,48 cdef	2,04 ef	10,76 a	3,62
----- Cu Residual, em mg/kg -----															
-M	4,58 A	1,91 A	2,52 A	3,47 A	6,06 A	9,97 A	15,47 A	5,18 A	23,51 A	35,56 A	18,55 A	33,91 A	41,49 A	74,75 A	19,78 A
+B	5,22 A	1,86 A	2,35 A	2,89 A	6,69 A	11,43 A	15,70 A	5,37 A	23,28 A	35,72 A	18,82 A	34,49 A	41,81 A	75,70 A	20,10 A
+Cu	6,16 A	1,91 A	2,40 A	4,21 A	7,18 A	11,20 A	16,72 A	5,35 A	23,79 A	37,56 A	19,46 A	35,23 A	41,88 A	76,41 A	20,67 A
+Fe	5,59 A	1,88 A	2,61 A	3,25 A	5,64 A	9,87 A	15,98 A	5,15 A	23,29 A	36,54 A	19,13 A	35,49 A	40,78 A	75,93 A	20,08 A
+Mn	6,13 A	2,62 A	2,60 A	3,92 A	5,10 A	10,52 A	16,24 A	5,24 A	22,40 A	35,42 A	19,44 A	36,83 A	40,94 A	74,50 A	20,14 A
+Zn	6,72 A	3,03 A	2,06 A	4,37 A	6,65 A	11,33 A	16,09 A	5,14 A	22,72 A	35,74 A	19,32 A	35,72 A	40,96 A	76,88 A	20,48 A
+M	5,51 A	3,12 A	1,97 A	3,92 A	7,78 A	12,07 A	17,92 A	5,94 A	24,33 A	33,94 A	17,95 A	37,55 A	41,08 A	76,43 A	20,68 A
Média	5,70 f	2,33 h	2,36 h	3,72 g	6,44 f	10,91 e	16,30 d	5,34 f	23,33 c	35,78 b	18,95 cd	35,60 b	41,28 b	75,80 a	20,28

Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

trocável eletrostaticamente, estarem em valores não detectáveis, as frações de Cu ligado à matéria orgânica, oclusa nos óxidos de Mn e nos óxidos amorfos de Fe foram aumentadas pela aplicação de Cu ao solo. Entretanto, esse efeito não foi significativo estatisticamente em todos os solos estudados, pois o coeficiente de variação foi elevado em todas as determinações. Esta falta de precisão na metodologia se dá pelas baixas concentrações dos elementos no solo e pela dificuldade na repetição do procedimento, em termos de temperatura de extração, velocidade de agitação e centrifugação, estabilidade do aparelho leitura e diferentes tempos de armazenamento dos extratos (Gomes et al., 1997). Em geral, esses efeitos são diminuídos quando se faz a aplicação de altas doses de metais no solo, para posterior fracionamento e dosagem, pois torna possível diluir o extrato com reagentes de baixo efeito-matriz sem que aja perda de sensibilidade na sua leitura, como feito nos trabalhos de Gomes et al. (1997), Mazur (1997), Egreja Filho (2000) e Nascimento (2001). Neste caso, os autores estão mais preocupados no efeito tóxico dos nutrientes ou metais pesados para as plantas. No presente trabalho, entretanto, a idéia é sondar a capacidade natural de suprimento do solo sem que se façam maiores condicionamentos do mesmo para simular as condições de fertilidade dos solos cultivados com florestas por vários anos.

Gomes et al. (1997) e Mazur (1997) mostraram que o Cu se associa fortemente com a fração orgânica do solo e também com os seus óxidos de Fe. O ácido húmico forma um complexo de grande estabilidade com o Cu, sendo sua estabilidade superior à maior parte dos metais pesados e na seguinte seqüência:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$  (Stevenson, 1982), assemelhando-se ao Pb (Gomes et al., 1997). Barrow (1985) mostra, também, que a sua constante de dissociação para formar o íon  $\text{CuOH}^+$  de  $\text{pK}_1=8$  é menor que para os demais metais, à exceção do Pb, que tem  $\text{pK}_1=7,71$ . Esta característica torna o Cu um íon com adsorção preferencial sobre a superfície de goethita e hematita. Segundo Padmanabham (1983), a reversibilidade da ligação do Cu com a goethita é regida por dois sítios de energia diferente, em que o primeiro tipo de sítio, de baixa energia, mantém o elemento em equilíbrio com a sua concentração na solução do solo, enquanto o segundo, de alta energia de ativação, libera lentamente o elemento, aumentando

essa liberação com o abaixamento do pH do solo. Assim, plantas que modificam o pH da rizosfera podem ter maior facilidade na absorção desse nutriente.

Os teores de Fe dentro das frações trocáveis e matéria orgânica foram modificados pela adição deste micronutriente no solo (Quadro 30), porém apenas a fração trocável apresentou tendência consistente em todos os solos estudados. A fração matéria orgânica mostrou grande variabilidade nos resultados e baixa capacidade de discriminação dos teores de Fe que lhe foram associados. A aplicação do Fe como complexo com o EDTA, cuja estabilidade lhe permite permanecer maior tempo na solução do solo ou levemente adsorvido (Lindsay, 1979), e a baixa competitividade do Fe pelos sítios de adsorção específica do solo, provavelmente, expliquem esses resultados.

De modo semelhante ao que ocorreu com o Fe, o Mn adicionado ao solo se concentrou, preferencialmente, na fração trocável, ficando uma parte muito pequena ligada na fração matéria orgânica (Quadro 31). Shuman (1979) encontrou parte do Mn aplicado como fertilizante nas frações trocável, matéria orgânica e óxido de Fe. A extração da matéria orgânica é feita com NaClO 0,7 mol/L, em cuja concentração esse extrator provoca grande variabilidade nas leituras no espectrofotômetro de absorção atômica, inclusive com riscos de precipitar seus compostos no queimador do equipamento, diminuindo a homogeneidade da chama e, conseqüentemente, a eficiência da queima da solução atomizada. Para minimizar esse efeito, realizou-se uma diluição com HNO<sub>3</sub> de modo que o extrato a ser lido tivesse uma concentração de 1 mol/L desse ácido, conforme sugerido por Gomes et al. (1997). A eficiência de tal medida foi questionável, sendo recomendável a secura do extrato em banho-maria, usando becker de teflon, queima em forno elétrico para eliminação dos restos do hipoclorito e resolubilização em solução de HNO<sub>3</sub> 1 mol/L para posterior dosagem por absorção atômica (Shuman, 1979, 1985).

A baixa competitividade do Mn aplicado pelos sítios de adsorção orgânicos e inorgânicos no solo é fato reconhecido e discutido por diversos autores (Borkert, 1991; Camargo, 1991; Barber, 1995; Borkert et al., 2001; Camargo et al., 2001). Os dados indicam que o elemento tem alta constante de

Quadro 30. Teor de ferro nas diferentes frações químicas de 14 solos de Minas Gerais incubados sem micro (-M), isoladamente com 0,5, 2,0, 10,0, 5,0 e 5,0 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, e com todos os micronutrientes (+M)

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Fe Trocável, em mg/kg -----															
-M	2,02 B	1,84 B	1,80 B	2,50 B	1,45 B	1,39 B	0,60 B	1,47 B	1,80 B	2,20 B	1,52 B	2,76 B	0,88 B	0,63 B	1,63 B
+B	2,10 B	1,89 B	1,76 B	2,27 B	1,33 B	1,14 B	0,53 B	1,26 B	1,79 B	2,13 B	1,57 B	2,80 B	0,67 B	0,47 B	1,55 B
+Cu	1,92 B	1,61 B	1,60 B	2,28 B	1,24 B	1,06 B	0,49 B	1,13 B	1,91 B	2,13 B	1,33 B	2,72 B	0,69 B	0,49 B	1,47 B
+Fe	9,38 A	10,96 A	11,04 A	13,45 A	9,89 A	10,99 A	1,75 A	6,13 A	8,74 A	10,91 A	10,97 A	12,39 A	7,59 A	4,06 A	9,16 A
+Mn	1,97 B	1,86 B	1,74 B	2,23 B	1,57 B	1,24 B	0,50 B	1,13 B	2,03 B	2,30 B	1,54 B	2,93 B	0,87 B	0,54 B	1,60 B
+Zn	1,76 B	1,79 B	1,64 B	2,21 B	1,40 B	1,18 B	0,61 B	1,21 B	1,97 B	2,22 B	1,57 B	2,66 B	0,63 B	0,42 B	1,52 B
+M	8,93 A	11,38 A	12,37 A	12,05 A	8,86 A	8,08 A	1,55 A	6,26 A	8,89 A	11,22 A	9,84 A	12,39 A	7,86 A	3,78 A	8,82 A
Média	4,01 cd	4,48 cd	4,57 cd	5,29 ab	3,68 ef	3,58 fg	0,86 j	2,66 gh	3,88 de	4,73 bc	4,05 def	5,52 a	2,74 h	1,48 i	3,68
----- Fe ligado na Matéria Orgânica, em mg/kg -----															
-M	12,42 A	6,87 A	9,62 A	11,72 A	6,90 A	5,17 A	7,33 A	8,55 B	11,66 A	13,27 A	5,19 A	8,79 A	21,48 A	8,51 A	9,82 B
+B	14,90 A	8,34 A	7,39 A	9,80 A	7,12 A	5,36 A	7,79 A	15,66 AB	12,44 A	11,93 A	4,74 A	8,43 A	22,08 A	6,50 A	10,18 AB
+Cu	13,71 A	6,54 A	8,87 A	10,04 A	6,80 A	5,13 A	7,05 A	17,75 AB	17,38 A	12,40 A	6,87 A	7,56 A	20,00 A	6,72 A	10,49 AB
+Fe	17,02 A	7,60 A	10,31 A	12,35 A	7,46 A	6,92 A	6,49 A	17,45 AB	15,52 A	14,23 A	8,66 A	8,74 A	24,70 A	9,19 A	11,90 A
+Mn	13,66 A	6,55 A	9,10 A	10,63 A	6,57 A	7,72 A	6,32 A	13,19 AB	12,20 A	10,76 A	6,55 A	6,97 A	22,00 A	7,27 A	9,96 AB
+Zn	14,26 A	6,10 A	8,17 A	11,43 A	5,76 A	7,22 A	6,09 A	18,58 A	11,34 A	10,57 A	5,98 A	7,06 A	19,61 A	6,52 A	9,91 B
+M	14,14 A	8,40 A	11,45 A	15,16 A	7,25 A	7,52 A	6,56 A	22,85 A	12,56 A	13,56 A	8,07 A	7,73 A	23,14 A	8,60 A	11,93 A
Média	14,30 bc	7,20 ef	9,27 de	11,59 cd	6,84 f	6,43 f	6,80 f	16,29 b	13,30 bc	12,39 bc	6,58 f	7,90 ef	21,86 a	7,62 ef	10,60
----- Fe ocluso nos Óxidos de Manganês, em mg/kg -----															
-M	79,74 A	88,72 A	111,23 A	125,45 A	100,19 A	56,10 A	151,18 A	64,24 A	108,28 A	111,04 A	82,85 A	118,34 A	85,26 A	94,53 A	98,37 A
+B	76,50 A	88,93 A	117,54 A	121,86 A	105,10 A	56,96 A	157,44 A	62,76 A	111,05 A	106,95 A	80,00 A	121,79 A	85,14 A	94,23 A	99,02 A
+Cu	82,98 A	88,29 A	103,21 A	125,24 A	103,85 A	57,49 A	156,45 A	61,15 A	109,67 A	105,86 A	81,40 A	121,77 A	86,79 A	93,41 A	98,40 A
+Fe	80,32 A	88,55 A	103,82 A	119,77 A	101,39 A	57,77 A	156,78 A	64,56 A	110,38 A	105,74 A	80,96 A	122,95 A	84,01 A	97,90 A	98,21 A
+Mn	81,59 A	87,25 A	103,95 A	133,49 A	106,06 A	58,94 A	155,33 A	61,33 A	109,72 A	105,46 A	77,02 A	123,15 A	84,50 A	93,22 A	98,64 A
+Zn	76,75 A	88,17 A	106,36 A	135,02 A	103,34 A	55,65 A	157,50 A	59,53 A	110,41 A	109,13 A	75,75 A	124,26 A	85,62 A	95,18 A	98,76 A
+M	78,02 A	88,04 A	102,84 A	124,14	106,22 A	57,63 A	151,67 A	62,86 A	106,00 A	109,05 A	77,35 A	122,40 A	81,66 A	91,34 A	97,09 A
Média	79,41 g	88,28 ef	106,99 c	126,42 b	103,74 cd	57,22 h	155,19 a	62,35 h	109,36 c	107,61 c	79,33 g	122,09 b	84,71 fg	94,26 de	98,35

**Quadro 30, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
<b>Fe ocluso nos Óxidos de Ferro Amorfo, em mg/kg</b>															
-M	1.583 A	1.311 A	2.501 A	3.773 A	1.693 A	1.532 A	1.127 A	2.655 A	3.515 A	2.802 A	2.794 A	3.005 A	2.804 A	4.279 A	2.527 A
+B	1.524 A	1.308 A	2.677 A	3.890 A	1.647 A	1.454 A	1.232 A	2.628 A	3.811 A	2.677 A	2.838 A	2.977 A	2.817 A	4.446 A	2.566 A
+Cu	1.581 A	1.282 A	2.470 A	3.853 A	1.604 A	1.443 A	1.265 A	2.573 A	3.628 A	2.357 A	2.771 A	3.020 A	2.886 A	4.328 A	2.504 A
+Fe	1.610 A	1.354 A	2.621 A	3.714 A	1.670 A	1.541 A	1.261 A	2.712 A	3.694 A	2.636 A	2.835 A	3.034 A	2.978 A	4.348 A	2.572 A
+Mn	1.620 A	1.300 A	2.693 A	3.764 A	1.733 A	1.565 A	1.154 A	2.560 A	3.797 A	2.666 A	2.917 A	2.853 A	2.842 A	4.377 A	2.560 A
+Zn	1.592 A	1.276 A	2.684 A	3.766 A	1.668 A	1.549 A	1.183 A	2.680 A	3.715 A	2.673 A	2.904 A	2.950 A	2.880 A	4.298 A	2.558 A
+M	1.547 A	1.248 A	2.664 A	3.794 A	1.665 A	1.427 A	1.077 A	2.848 A	3.552 A	2.754 A	2.758 A	2.903 A	2.856 A	4.331 A	2.530 A
Média	1.580 gh	1.297 i	2.616 f	3.793 b	1.669 g	1.502 h	1.185 j	2.665 def	3.673 b	2.652 ef	2.831 cde	2.963 c	2.866 cd	4.344 a	2.545
<b>Fe ocluso nos Óxidos de Ferro Cristalinos, em mg/kg</b>															
-M	19.880 A	5.390 A	10.978 A	33.113 A	9.330 A	22.655 A	24.746 A	18.027 A	49.211 A	34.582 A	53.689 A	39.222 A	43.386 A	81.791 A	31.857 A
+B	17.563 A	5.024 A	10.767 A	31.029 A	7.525 A	20.976 A	25.184 A	17.840 A	51.473 A	35.216 A	52.036 A	46.424 A	42.344 A	73.078 A	31.177 A
+Cu	18.228 A	5.389 A	11.087 A	28.175 A	8.056 A	20.600 A	26.212 A	18.450 A	51.522 A	33.397 A	61.627 A	36.279 A	42.988 A	78.018 A	31.430 A
+Fe	17.580 A	5.398 A	11.661 A	27.245 A	8.859 A	24.762 A	26.034 A	19.752 A	49.919 A	32.844 A	63.994 A	44.543 A	44.570 A	76.661 A	32.416 A
+Mn	17.031 A	5.174 A	11.383 A	27.926 A	8.733 A	28.425 A	26.437 A	18.438 A	47.049 A	31.886 A	59.841 A	38.356 A	41.243 A	82.055 A	31.713 A
+Zn	17.182 A	5.265 A	11.171 A	27.407 A	8.846 A	20.520 A	26.006 A	18.206 A	49.164 A	18.747 A	50.336 A	41.508 A	44.222 A	74.924 A	29.536 A
+M	17.021 A	5.318 A	10.801 A	26.188 A	8.296 A	21.770 A	25.725 A	18.068 A	42.851 A	35.122 A	65.556 A	32.465 A	45.254 A	77.900 A	30.881 A
Média	17.784 g	5.280 j	11.121 h	28.726 d	8.521 i	22.815 ef	25763 de	18.397 fg	48741 bc	31.685 d	58.154 b	39.828 c	43.430 c	77.775 a	31.287
<b>Fe Residual, em mg/kg</b>															
-M	8.593 A	2.723 A	4.864 A	9.670 A	1.270 A	13.182 A	4.888 A	30.203 A	42.964 A	65.773 A	15.225 A	43.918 A	42.080 A	13.4793 A	30.010 A
+B	11.051 A	3.065 A	4.805 A	10.979 A	3.161 A	14.481 A	3.963 A	30.433 A	41.060 A	66.149 A	12.542 A	39.979 A	40.522 A	14.2999 A	30.371 A
+Cu	10.187 A	2.546 A	5.034 A	12.459 A	2.630 A	14.791 A	3.893 A	29.781 A	40.349 A	69.717 A	15.592 A	44.533 A	41.108 A	13.8041 A	30.761 A
+Fe	11.221 A	2.669 A	4.230 A	12.520 A	1.609 A	10.561 A	4.042 A	28.035 A	41.591 A	69.347 A	12.431 A	41.214 A	40.060 A	14.1499 A	30.073 A
+Mn	11.866 A	2.812 A	4.318 A	12.396 A	1.879 A	7.101 A	3.417 A	29.498 A	46.288 A	71.099 A	14.435 A	47.993 A	42.835 A	13.7057 A	30.928 A
+Zn	11.687 A	2.786 A	4.215 A	14.765 A	1.804 A	15.544 A	3.794 A	30.117 A	43.616 A	73.664 A	16.281 A	43.872 A	39.876 A	14.3283 A	31.807 A
+M	11.786 A	2.862 A	5.049 A	15.809 A	2.335 A	14.093 A	4.437 A	30.151 A	52.106 A	68.397 A	11.215 A	52.056 A	39.091 A	13.9357 A	32.053 A
Média	10.913 e	2.780 g	4.645 f	12.657 e	2.098 g	12.822 e	4.062 f	29.745 d	43.996 c	69.164 b	13.960 e	44795 c	40.796 cd	13.9576 a	30.858

Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 31 Teor de manganês nas diferentes frações químicas de 14 solos de Minas Gerais incubados sem micro (-M), isoladamente com 0,5, 2,0, 10,0, 5,0 e 5,0 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, e com todos os micronutrientes (+M)**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Mn Trocável, em mg/kg -----															
-M	3,41 B	5,57 B	9,30 BC	5,43 B	5,44 B	10,70 C	46,18 A	3,33 B	6,66 C	7,63 C	4,62 B	8,72 B	16,73 BC	33,32 A	11,93 B
+B	3,67 B	5,71 B	8,79 BC	5,14 B	5,24 B	11,05 C	46,63 A	3,06 B	6,89 C	7,46 C	4,57 B	8,36 B	14,29 C	36,04 A	11,92 B
+Cu	3,87 B	5,11 B	8,56 C	5,06 B	5,29 B	10,88 C	49,28 A	2,19 B	6,52 C	7,45 C	4,04 B	8,58 B	16,57 BC	31,42 A	11,77 B
+Fe	3,89 B	6,17 B	9,58 ABC	5,28 B	5,27 B	11,41 BC	56,27 A	2,56 B	7,06 BC	7,93 BC	4,22 B	8,45 B	20,79 ABC	34,27 A	13,08 B
+Mn	7,68 A	10,83 A	13,21 AB	10,24 A	9,78 A	15,37 AB	56,58 A	6,25 A	10,94 AB	12,15 AB	8,68 A	13,46 A	22,50 AB	36,92 A	16,75 A
+Zn	4,34 B	6,16 B	8,87 BC	5,00 B	5,56 B	12,61 ABC	49,71 A	2,87 B	6,90 C	7,64 C	4,52 B	8,37 B	20,75 ABC	34,81 A	12,72 B
+M	7,72 A	10,88 A	14,62 A	9,97 A	9,84 A	16,85 A	59,73 A	5,93 A	11,46 A	12,91 A	9,03 A	13,73 A	26,04 A	35,84 A	17,47 A
Média	4,94 j	7,20 gh	10,42 e	6,59 hi	6,63 hi	12,69 d	52,05 a	3,74 k	8,06 fg	9,02 ef	5,67 ij	9,95 e	19,67 c	34,66 b	13,66
----- Mn ligado na Matéria Orgânica, em mg/kg -----															
-M	0,55 A	0,51 A	0,80 AB	0,71 AB	0,52 A	0,57 A	3,76 A	0,40 A	0,52 A	1,06 A	0,34 A	0,24 A	14,99 A	2,46 A	1,96 AB
+B	0,43 A	0,60 A	0,58 B	0,44 B	0,44 A	0,69 A	1,12 B	0,38 A	0,56 A	1,04 A	0,26 A	0,15 A	14,94 A	1,59 A	1,66 B
+Cu	0,37 A	0,45 A	0,67 AB	0,55 AB	0,53 A	0,59 A	4,31 A	0,38 A	0,62 A	1,16 A	0,26 A	0,19 A	12,16 A	1,49 A	1,70 AB
+Fe	0,42 A	0,55 A	0,72 AB	0,79 AB	0,42 A	0,55 A	3,96 A	0,39 A	0,70 A	1,11 A	0,18 A	0,18 A	12,89 A	1,27 A	1,72 AB
+Mn	0,69 A	0,78 A	1,21 A	0,91 AB	0,80 A	0,60 A	2,51 AB	0,64 A	0,87 A	1,23 A	0,56 A	0,47 A	14,24 A	1,44 A	1,93 A
+Zn	0,42 A	0,60 A	0,77 AB	0,60 AB	0,38 A	0,66 A	4,29 A	0,59 A	0,69 A	0,91 A	0,23 A	0,29 A	12,98 A	1,03 A	1,75 AB
+M	0,40 A	0,56 A	1,03 AB	1,10 A	0,63 A	1,18 A	2,70 AB	0,76 A	1,22 A	1,16 A	0,49 A	0,34 A	14,00 A	2,02 A	1,97 A
Média	0,47 fgh	0,58 efg	0,83 de	0,73 def	0,53 efgh	0,69 ef	3,24 b	0,51 efgh	0,74 def	1,10 d	0,33 gh	0,27 h	13,74 a	1,62 c	1,81
----- Mn ocluso nos Óxidos de Manganês, em mg/kg -----															
-M	0,86 A	0,98 A	1,61 A	1,31 A	1,34 A	3,77 A	406,77 A	1,51 A	2,52 A	2,48 A	1,16 A	1,86 A	32,43 A	49,92 A	36,32 A
+B	0,71 A	1,02 A	1,85 A	1,28 A	1,27 A	3,62 A	403,21 A	1,76 A	3,56 A	2,12 A	1,15 A	2,81 A	40,52 A	48,67 A	36,68 A
+Cu	0,70 A	1,00 A	1,61 A	1,21 A	1,22 A	3,57 A	421,95 A	1,66 A	3,59 A	2,14 A	1,33 A	2,12 A	40,17 A	50,54 A	38,06 A
+Fe	0,76 A	0,91 A	1,76 A	1,16 A	1,30 A	3,46 A	438,27 A	1,35 A	3,32 A	2,41 A	1,13 A	1,63 A	38,49 A	47,94 A	38,85 A
+Mn	1,04 A	0,97 A	1,79 A	1,52 A	1,59 A	4,22 A	433,27 A	1,73 A	3,66 A	3,10 A	1,63 A	2,12 A	39,42 A	48,99 A	38,93 A
+Zn	1,05 A	0,81 A	1,71 A	1,27 A	1,23 A	3,81 A	432,98 A	1,01 A	2,87 A	2,29 A	1,05 A	1,85 A	38,68 A	50,83 A	38,67 A
+M	0,96 A	0,96 A	1,81 A	1,53 A	1,37 A	3,81 A	419,73 A	1,29 A	3,15 A	2,24 A	1,53 A	1,72 A	36,27 A	54,16 A	37,89 A
Média	0,87 j	0,95 ij	1,73 fg	1,33 h	1,33 gh	3,75 d	422,31 a	1,47 gh	3,24 d	2,40 e	1,28 hi	2,01 ef	38,00 c	50,15 b	37,92

**Quadro 31, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Mn ocluso nos Óxidos de Ferro Amorfo, em mg/kg -----															
-M	2,14 A	2,80 A	8,94 A	3,56 A	3,64 A	10,30 A	24,55 A	2,09 A	6,29 A	5,54 A	2,43 A	3,41 A	27,69 A	28,14 A	9,39 A
+B	3,63 A	1,95 A	8,13 A	3,98 A	3,94 A	9,47 A	26,97 A	1,41 A	6,53 A	5,29 A	3,00 A	3,61 A	26,48 A	28,89 A	9,52 A
+Cu	2,75 A	2,22 A	7,54 A	3,75 A	3,20 A	9,46 A	25,56 A	1,28 A	6,90 A	5,06 A	2,67 A	4,14 A	27,77 A	27,69 A	9,28 A
+Fe	1,89 A	2,39 A	7,28 A	3,33 A	4,33 A	9,57 A	25,30 A	2,44 A	4,55 A	4,02 A	2,79 A	4,17 A	27,81 A	27,18 A	9,07 A
+Mn	2,21 A	2,30 A	8,26 A	4,31 A	3,95 A	9,91 A	25,58 A	1,16 A	6,31 A	5,95 A	3,07 A	2,77 A	26,00 A	28,86 A	9,33 A
+Zn	2,55 A	2,78 A	8,22 A	3,25 A	3,60 A	9,44 A	25,79 A	1,57 A	5,34 A	5,28 A	3,06 A	3,60 A	26,72 A	28,60 A	9,27 A
+M	2,83 A	3,71 A	7,04 A	3,91 A	3,17 A	8,90 A	22,97 A	1,61 A	6,49 A	5,45 A	2,78 A	3,62 A	26,93 A	29,90 A	9,24 A
Média	2,57 e	2,59 e	7,92 b	3,73 d	3,69 d	9,58 b	25,24 a	1,65 f	6,06 c	5,23 c	2,83 de	3,62 d	27,06 a	28,47 a	9,30
----- Mn ocluso nos Óxidos de Ferro Cristalinos, em mg/kg -----															
-M	6,30 A	3,66 A	5,06 A	8,13 A	4,49 A	15,34 A	41,30 A	3,55 A	18,48 A	9,09 A	13,22 A	10,54 A	35,89 A	80,28 A	18,24 A
+B	5,59 A	4,22 A	4,40 A	7,69 A	4,01 A	15,60 A	42,40 A	3,31 A	18,44 A	8,89 A	12,86 A	14,17 A	35,27 A	71,42 A	17,73 A
+Cu	5,89 A	4,33 A	5,61 A	6,53 A	4,18 A	15,71 A	43,80 A	3,85 A	19,23 A	8,49 A	14,88 A	10,28 A	36,57 A	76,01 A	18,24 A
+Fe	5,29 A	4,11 A	4,80 A	6,57 A	3,97 A	17,75 A	43,63 A	3,05 A	18,52 A	8,39 A	15,76 A	11,03 A	37,40 A	74,12 A	18,17 A
+Mn	5,11 A	3,98 A	4,96 A	6,99 A	3,88 A	19,00 A	43,21 A	3,44 A	19,26 A	8,43 A	14,85 A	10,01 A	33,79 A	78,32 A	18,23 A
+Zn	4,75 A	3,99 A	5,24 A	6,59 A	4,19 A	14,61 A	43,17 A	4,43 A	18,21 A	7,33 A	12,48 A	11,26 A	36,81 A	74,40 A	17,68 A
+M	4,94 A	4,06 A	4,83 A	6,85 A	4,38 A	15,97 A	42,36 A	3,87 A	16,87 A	8,64 A	15,94 A	8,46 A	37,77 A	80,19 A	18,23 A
Média	5,41 g	4,05 hi	4,99 gh	7,05 f	4,16 hi	16,28 cd	42,84 b	3,64 i	18,43 c	8,47 f	14,29 d	10,82 e	36,21 b	76,39 a	18,07
----- Mn Residual, em mg/kg -----															
-M	10,13 A	66,49 A	12,41 A	98,94 A	11,43 A	60,98 A	142,98 A	6,91 A	90,18 A	206,64 A	68,11 A	34,47 A	66,55 A	1.078,30 A	139,61 A
+B	9,55 A	66,52 A	14,29 A	99,42 A	12,33 A	61,08 A	137,72 A	8,52 A	88,14 A	207,29 A	67,77 A	30,31 A	59,71 A	1.085,55 A	139,16 A
+Cu	10,56 A	66,76 A	14,13 A	100,72 A	13,05 A	61,40 A	109,38 A	9,09 A	86,95 A	207,69 A	67,37 A	33,70 A	58,43 A	1.085,78 A	137,50 A
+Fe	11,15 A	65,74 A	13,77 A	100,77 A	11,96 A	58,85 A	96,12 A	8,71 A	90,00 A	208,42 A	66,43 A	34,18 A	53,41 A	1.088,40 A	136,28 A
+Mn	12,28 A	65,93 A	13,75 A	98,75 A	12,29 A	57,23 A	101,08 A	10,09 A	88,41 A	206,43 A	66,40 A	35,61 A	61,84 A	1.084,40 A	136,75 A
+Zn	10,79 A	65,72 A	13,32 A	101,17 A	12,54 A	60,50 A	104,89 A	8,06 A	90,46 A	208,65 A	68,19 A	34,11 A	56,86 A	1.083,81 A	137,08 A
+M	12,32 A	64,93 A	13,78 A	99,65 A	13,06 A	59,67 A	117,34 A	9,88 A	90,75 A	207,11 A	65,64 A	36,32 A	58,33 A	1.075,29 A	137,43 A
Média	10,97 h	66,01 e	13,63 g	99,92 cd	12,38 gh	59,96 e	115,64 c	8,75 i	89,27 d	207,46 b	67,13 e	34,10 f	59,30 e	1.083,07 a	137,69

Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

formação do íon  $\text{MnOH}^+$  sendo, portanto, facilmente deslocado quando comparado com o Cu e o Zn no solo (Barrow, 1985). Nascimento (2001) mostrou que o Mn aplicado tende a permanecer em boa quantidade na fração Mn-Tro, independente da alteração da reação do solo.

O Zn, juntamente com o Cu, foi o elemento que mais amplamente se distribuiu nas diferentes frações do solo (Quadro 32). A aplicação do elemento no solo alterou significativamente os teores de Zn nas frações trocáveis, ligado à matéria orgânica, ocluso nos óxidos de Mn e na fração residual, formada principalmente de óxidos cristalinos de Fe e de minerais silicatados. Como já destacado, os baixos teores presentes nas frações, aliados às dificuldades operacionais na extração das diferentes séries de amostras, provocaram altos coeficientes de variação, diminuíram a capacidade de discriminação das demais frações pelos reagentes utilizados, assim como não mostraram significância estatística em alguns solos nas frações Zn-MO, Zn-OxMn e Zn-Res. Apenas a fração Zn-Tro teve efeito significativo da adição de Zn em todos os solos.

A associação do Zn aplicado à fração trocável, a matéria orgânica e aos óxidos de Mn, além da fração residual, mostra a grande afinidade desses constituintes pelo elemento. A aplicação do Zn no solo aumenta os teores das frações Zn-Tro e Zn-MO, principalmente (Oliveira et al., 1999). Porém, com o aumento do pH do solo ocorre diminuição dos teores nestas frações e aumento dos teores nas frações óxido de Fe e Mn (Sims, 1986; Shuman, 1986; Nascimento, 2001). O Zn é encontrado na solução do solo como  $\text{Zn}^{2+}$  ou formando complexos e pares iônicos com inúmeros ligantes orgânicos e inorgânicos (Chesword, 1991; Raij, 1991a). A adsorção do elemento pelos constituintes da fase sólida do solo, pode diminuir sua concentração na solução, cujo efeito pode ser mais intenso com o aumento do pH (Bar-Yosef et al., 1980). Acima de pH 5,5, principalmente, o Zn é adsorvido pelos óxidos de Mn (Loganathan et al., 1977), pelos óxidos de Al (Kalbasi et al., 1978) e de Fe (Kinniburgh & Jackson, 1982, Pombo & Klamt, 1986). Shuman (1985), comparando os teores de Zn ocluídos nos óxidos de Mn e de Fe, acredita que os maiores valores encontrados nos óxidos de Fe se devam mais à sua maior abundância relativa que, necessariamente, a uma afinidade maior pelo elemento;

**Quadro 32. Teor de zinco nas diferentes frações químicas de 14 solos de Minas Gerais incubados sem micro (-M), isoladamente com 0,5, 2,0, 10,0, 5,0 e 5,0 mg/dm<sup>3</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, e com todos os micronutrientes (+M)**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Zn Trocável, em mg/kg -----															
-M	0,94 B	0,62 B	0,50 BC	0,28 B	0,79 B	0,40 B	0,16 C	0,19 B	0,14 B	0,22 B	0,15 B	0,21 B	0,11 B	0,09 B	0,34 B
+B	1,14 B	0,53 B	0,27 C	0,27 B	0,77 B	0,36 B	0,10 C	0,14 B	0,13 B	0,19 B	0,12 B	0,23 B	0,09 B	0,09 B	0,32 B
+Cu	1,00 B	0,55 B	0,29 C	0,27 B	0,75 B	0,36 B	0,11 C	0,15 B	0,14 B	0,24 B	0,16 B	0,21 B	0,09 B	0,11 B	0,32 B
+Fe	1,36 B	0,49 B	0,23 C	0,20 B	0,73 B	0,35 B	0,28 B	0,14 B	0,15 B	0,22 B	0,15 B	0,19 B	0,09 B	0,12 B	0,33 B
+Mn	1,04 B	0,64 B	0,24 C	0,18 B	0,69 B	0,33 B	0,11 C	0,14 B	0,14 B	0,23 B	0,13 B	0,23 B	0,09 B	0,08 B	0,31 B
+Zn	2,82 A	1,94 A	1,07 AB	0,87 A	1,85 A	1,23 A	0,32 B	0,36 A	0,54 A	0,69 A	0,45 A	0,99 A	0,31 A	0,31 A	0,98 A
+M	3,07 A	1,86 A	1,24 A	0,96 A	1,90 A	1,21 A	0,80 A	0,41 A	0,58 A	0,76 A	0,51 A	0,94 A	0,34 A	0,35 A	1,07 A
Média	1,62 a	0,95 b	0,55 cd	0,43 de	1,07 b	0,60 c	0,27 fg	0,22 fg	0,26 fg	0,36 ef	0,24 fg	0,43 de	0,16 g	0,16 g	0,52
----- Zn ligado na Matéria Orgânica, em mg/kg -----															
-M	0,70 B	0,92 C	0,99 AB	0,94 AB	1,05 A	0,64 A	0,71 A	0,57 B	0,61 A	0,93 A	0,45 AB	0,52 A	0,79 A	0,31 A	0,72 B
+B	1,17 AB	0,99 BC	0,86 B	0,80 AB	0,94 A	0,66 A	0,80 A	0,71 AB	0,59 A	0,84 A	0,36 B	0,54 A	1,01 A	0,20 A	0,75 B
+Cu	1,22 AB	0,95 C	0,94 AB	0,79 AB	1,06 A	0,62 A	0,76 A	0,73 AB	0,62 A	0,83 A	0,48 AB	0,52 A	0,65 A	0,24 A	0,74 B
+Fe	1,20 AB	0,97 C	0,91 AB	0,79 AB	0,96 A	0,55 A	0,63 A	0,78 AB	0,85 A	0,73 A	0,57 AB	0,51 A	0,91 A	0,19 A	0,75 B
+Mn	1,39 A	1,02 ABC	0,98 AB	0,74 B	0,95 A	0,69 A	0,63 A	0,75 AB	0,71 A	0,72 A	0,58 AB	0,40 A	0,80 A	0,27 A	0,76 B
+Zn	1,53 A	1,69 A	1,51 A	1,35 A	1,30 A	0,98 A	0,77 A	1,07 AB	1,01 A	1,05 A	0,81 AB	0,62 A	1,51 A	0,33 A	1,11 A
+M	1,59 A	1,65 AB	1,55 A	1,30 AB	1,34 A	0,86 A	0,70 A	1,10 A	1,00 A	1,08 A	0,92 A	0,61 A	1,42 A	0,38 A	1,11 A
Média	1,26 a	1,17 ab	1,11 ab	0,96 bcd	1,09 ab	0,71 def	0,71 def	0,82 cde	0,77 cde	0,88 bcd	0,60 ef	0,53 f	1,01 abc	0,27 g	0,85
----- Zn ocluso nos Óxidos de Manganês, em mg/kg -----															
-M	2,96 A	1,62 AB	1,82 BC	1,49 C	2,07 ABC	1,37 B	4,12 B	1,51 B	1,54 B	1,90 B	1,93 B	1,84 AB	2,30 B	1,54 B	2,00 B
+B	3,00 A	1,79 AB	1,21 C	1,89 C	1,73 BC	1,22 B	4,19 B	1,46 B	1,62 B	2,00 B	1,77 B	1,95 AB	2,37 B	1,78 B	2,00 B
+Cu	2,51 A	1,95 AB	1,47 C	1,62 C	1,79 BC	1,26 B	4,52 AB	1,42 B	1,33 B	1,82 B	2,22 B	1,66 AB	2,31 B	1,57 B	1,96 B
+Fe	2,63 A	1,57 B	1,33 C	1,93 BC	1,67 C	1,26 B	4,01 B	1,57 B	1,39 B	1,65 B	2,19 B	1,42 B	2,24 B	1,66 B	1,89 B
+Mn	3,09 A	1,65 AB	1,19 C	1,59 C	1,86 ABC	1,44 B	4,14 B	1,56 B	1,48 B	2,01 B	1,71 B	1,27 B	2,67 B	1,66 B	1,95 B
+Zn	3,42 A	2,56 AB	2,64 AB	3,05 AB	2,76 AB	3,14 A	6,28 A	2,97 A	3,01 A	3,39 A	3,77 A	2,79 A	4,63 A	3,28 A	3,41 A
+M	3,77 A	2,61 A	3,03 A	3,39 A	2,90 A	2,47 A	5,56 AB	3,16 A	3,01 A	3,64 A	4,75 A	2,78 A	4,64 A	3,72 A	3,53 A
Média	3,05 b	1,96 cde	1,81 e	2,13 cde	2,11 cde	1,74 e	4,69 a	1,95 de	1,91 de	2,34 cd	2,62 bc	1,96 de	3,02 b	2,17 cde	2,39

**Quadro 32, cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Zn ocluso nos Óxidos de Ferro Amorfo, em mg/kg -----															
-M	1,19 A	0,45 A	0,60 A	1,01 A	0,65 A	0,31 A	1,35 A	1,32 A	0,99 A	1,32 A	1,40 A	0,43 A	1,35 A	0,99 A	0,95 A
+B	0,80 A	0,71 A	0,46 A	0,89 A	0,38 A	0,31 A	1,33 A	1,44 A	0,99 A	1,19 A	1,42 A	0,40 A	1,64 A	0,95 A	0,92 A
+Cu	0,93 A	0,77 A	0,39 A	0,79 A	0,83 A	0,36 A	1,63 A	1,64 A	1,09 A	1,30 A	1,56 A	0,45 A	1,20 A	0,86 A	0,99 A
+Fe	1,10 A	0,65 A	0,60 A	0,86 A	1,00 A	0,27 A	1,39 A	1,54 A	0,99 A	1,28 A	1,67 A	0,42 A	1,25 A	1,05 A	1,01 A
+Mn	1,12 A	0,89 A	0,46 A	0,98 A	0,36 A	0,35 A	1,50 A	1,59 A	0,96 A	1,37 A	1,42 A	0,43 A	1,30 A	1,00 A	0,98 A
+Zn	1,03 A	0,79 A	0,56 A	0,84 A	0,58 A	0,31 A	1,69 A	1,50 A	1,08 A	1,26 A	1,43 A	0,43 A	1,41 A	1,07 A	1,00 A
+M	1,31 A	0,88 A	0,57 A	0,87 A	0,66 A	0,35 A	1,64 A	1,54 A	1,00 A	1,10 A	1,38 A	0,49 A	1,42 A	1,19 A	1,03 A
Média	1,07 bc	0,73 def	0,52 fgh	0,89 cde	0,64 efg	0,32 h	1,50 a	1,51 a	1,02 bcd	1,26 ab	1,47 a	0,44 gh	1,37 ab	1,02 bcd	0,98
----- Zn ocluso nos Óxidos de Ferro Cristalinos, em mg/kg -----															
-M	3,71 A	1,83 A	2,81 A	4,28 A	2,35 A	2,67 A	10,75 A	3,58 A	3,04 A	5,20 A	2,28 A	3,89 A	4,67 A	4,98 A	4,00 A
+B	3,39 A	1,69 A	2,41 A	2,52 A	1,07 A	2,91 A	10,95 A	3,23 A	3,12 A	4,79 A	2,35 A	3,92 A	5,05 A	5,58 A	3,78 A
+Cu	3,04 A	2,39 A	1,66 A	4,24 A	2,73 A	3,13 A	12,15 A	3,18 A	3,02 A	4,98 A	2,39 A	4,05 A	4,85 A	5,92 A	4,12 A
+Fe	3,50 A	1,56 A	1,64 A	3,26 A	1,99 A	2,64 A	10,24 A	4,33 A	2,88 A	4,11 A	2,29 A	4,30 A	4,66 A	5,75 A	3,80 A
+Mn	3,04 A	2,17 A	3,79 A	4,62 A	2,33 A	3,28 A	10,13 A	3,47 A	3,64 A	4,59 A	2,22 A	3,59 A	4,33 A	6,38 A	4,11 A
+Zn	3,64 A	2,40 A	3,56 A	3,19 A	2,65 A	2,04 A	10,80 A	3,48 A	4,17 A	3,70 A	1,42 A	4,26 A	4,62 A	6,68 A	4,04 A
+M	3,53 A	1,75 A	2,32 A	3,23 A	2,37 A	2,90 A	10,72 A	3,90 A	3,88 A	5,45 A	1,99 A	4,38 A	4,85 A	6,27 A	4,11 A
Média	3,41 cdef	1,97 g	2,60 fg	3,62 cdef	2,21 g	2,80 efg	10,82 a	3,59 cde	3,39 def	4,69 bcd	2,13 g	4,06 cd	4,72 bc	5,94 b	4,00
----- Zn Residual, em mg/kg -----															
-M	72,73 A	31,81 A	28,85 B	26,32 A	24,63 A	29,60 ABC	37,23 AB	26,74 ABC	32,30 A	38,14 A	30,97 B	31,27 AB	57,08 A	141,44 A	43,51 B
+B	72,92 A	31,71 A	30,61 AB	27,63 A	26,66 A	29,53 ABC	37,20 AB	26,68 ABC	32,48 A	37,94 A	30,92 B	31,05 B	56,08 A	140,97 A	43,74 B
+Cu	72,38 A	30,75 A	31,13 AB	26,56 A	24,47 A	29,25 BC	35,42 B	26,80 ABC	32,52 A	38,46 A	30,23 B	31,13 B	56,93 A	140,87 A	43,35 B
+Fe	72,58 A	31,80 A	31,05 AB	27,28 A	25,12 A	29,90 ABC	37,98 AB	25,57 C	32,21 A	39,45 A	30,24 B	31,37 AB	57,13 A	140,83 A	43,75 B
+Mn	71,83 A	31,08 A	29,19 AB	26,15 A	25,41 A	28,91 C	38,08 AB	26,34 BC	31,70 A	38,58 A	31,07 B	32,35 AB	57,00 A	140,15 A	43,42 B
+Zn	74,75 A	33,07 A	31,46 AB	29,69 A	27,45 A	31,73 AB	39,54 A	29,16 A	33,68 A	41,89 A	34,25 A	34,17 A	58,70 A	142,84 A	45,88 A
+M	73,75 A	33,53 A	31,77 A	29,36 A	27,35 A	32,19 A	39,86 A	28,67 AB	34,23 A	40,32 A	32,58 AB	33,95 AB	58,57 A	142,63 A	45,63 A
Média	72,99 b	31,96 e	30,58 fg	27,57 h	25,87 i	30,16 g	37,91 d	27,14 h	32,73 e	39,26 d	31,46 ef	32,18 e	57,35 c	141,39 a	44,18

Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU- Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

contudo, Kalbasi et al. (1978) mostraram que, em pH equivalente, os óxidos de Fe têm maior capacidade de adsorver o Zn que os óxidos de Al e Kinniburgh (1983) mostrou que a adsorção do Zn pela ferridrita, um composto de Fe de baixa cristalinidade ou quase amorfo, é rápida (abaixo de seis minutos) e dependente do pH. Os minerais silicatados da fração argila também adsorvem o Zn, porém com energia crescente na, seguinte ordem: caulinita < illita < montmorilonita < vermiculita (Souza & Ferreira, 1991) o que justifica, em parte, as maiores taxas de adsorção encontradas por Shuman (1976) em solos de maior CTC. Entretanto, em solos tropicais a adsorção e sua força aumentam com o aumento dos teores de óxidos de Fe e Al, provocando menores valores de Zn extraídos dos solos (Marinho & Igue, 1973).

A distribuição do Cu e do Zn no solo em diferentes frações químicas permite uma velocidade de liberação diferenciada e alongada no tempo e justifica os altos efeitos residuais observados quando se faz adubação com esses micronutrientes. Martens & Westermann (1991) mostraram experimentos em que o efeito benéfico da adubação com Mn e B foi observado até 2 anos após a aplicação; para Cu, até 12 anos e 15 anos para o Mo; para o Zn, 5 kg/ha corrigiram a deficiência por até sete anos. Em solos brasileiros, Galvão (1984) mostrou que 6 kg/ha aplicados a lanço, apenas no primeiro cultivo em um Latossolo Vermelho de Cerrado, foi suficiente para manter boas produções por seis cultivos seguidos, envolvendo a seqüência: arroz, arroz, milho, soja, milho e milho. Ritchey et al. (1986) obtiveram respostas próximas da produção máxima por quatro cultivos consecutivos em um Latossolo Vermelho argiloso de Cerrado com o uso de 3 kg/ha de Zn aplicados a lanço no primeiro ano. Galvão (1995, 1996) obteve resposta do milho por 3-4 anos em produção máxima e concentração adequada no tecido pelo uso de 1,0-1,2 kg/ha de Zn, aplicado a lanço no primeiro cultivo. Recentemente, Galvão (1999) mostrou a efetividade de 2,4 kg/ha de Cu, aplicados a lanço no primeiro ano, por até 4 anos, em Latossolo Vermelho de Cerrado sobre a produção de soja.

#### **4.2.2. Mudanças na disponibilidade de micronutrientes em solos submetidos a três cultivos sucessivos**

Observando-se o efeito médio dos tratamentos aplicados e dos solos utilizados no experimento (Quadro 33), constatou-se que o extrator  $\text{CaCl}_2$  5 mmol/L discriminou eficientemente o efeito da aplicação do B em todos os solos utilizados. Esse extrator, como uma adaptação do método da água quente proposto por Berger & Truog (1939), ainda é o mais utilizado para a estimativa dos teores de B por meio da análise do solo. Ele se tem firmado como o mais indicado para as condições brasileiras de culturas e solos (Lopes & Abreu, 2000; Ferreira et al., 2001) e vários locais têm estabelecido limites para interpretação de seus teores no solo: para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, têm sido usados os limites de  $<0,10$ ,  $0,10-0,30$  e  $> 0,30$   $\text{mg/dm}^3$  para os teores considerados baixos, médios e altos, respectivamente (CFS – RS/SC, 1994); para o estado de São Paulo, têm-se sugerido  $<0,20$ ,  $0,21-0,60$  e  $> 0,60$   $\text{mg/dm}^3$  para os valores considerados baixos, médios e altos, respectivamente, acrescentando-se, porém, esta recomendação para as culturas mais exigentes e para os solos onde a deficiência tem aparecido com mais frequência (Raij et al., 1996). Para essas mesmas classes de interpretação, Galvão et al., citados por Lopes & Abreu (2000), têm sugerido, para a Região dos Cerrados, os seguintes limites de teores:  $<0,2$ ,  $0,2-0,5$  e  $> 0,5$   $\text{mg/dm}^3$ , respectivamente.

Considerando-se os critérios de Raij et al. (1996) e de Galvão et al., dados não publicados mas citados em Lopes & Abreu (2000), por sua maior proximidade geográfica e climática com os solos de Minas Gerais utilizados, pode-se observar que apenas os solos LVA-EG, C-VII, LVA-VII, RU-SF, LVA-BA, LV-CO e LVdf-SSP podem ser considerados como tendo teores baixos de B. Os demais solos têm teores médios (Quadro 33). Apesar de ter sido adicionada uma dose de  $0,5$   $\text{mg/dm}^3$ , os solos somente alteraram seus teores em  $0,12$   $\text{mg/dm}^3$ , na média, mostrando grande capacidade de adsorção do nutriente no solo, como destacado por Ribeiro & Tucunango Sarabia (1984). Este aumento, porém, não foi suficiente para elevar os teores de B para a classe alta, em nenhum dos solos utilizados.

**Quadro 33. Médias de três cultivos dos teores de B disponível por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L e de Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1, em função dos tratamentos para os solos<sup>(1)</sup> utilizados**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,21 B <sup>(2)</sup>	0,19 B	0,18 B	0,24 B	0,15 B	0,16 B	0,12 B	0,17 B	0,31 B	0,24 B	0,15 B	0,31 B	0,21 B	0,16 B	0,20 B
+B	0,35 A	0,31 A	0,31 A	0,38 A	0,28 A	0,27 A	0,22 A	0,30 A	0,48 A	0,35 A	0,28 A	0,44 A	0,32 A	0,27 A	0,32 A
+Cu	0,23 B	0,18 B	0,18 B	0,25 B	0,15 B	0,16 B	0,11 B	0,17 B	0,34 B	0,25 B	0,17 B	0,30 B	0,22 B	0,15 B	0,20 B
+Fe	0,23 B	0,19 B	0,20 B	0,24 B	0,14 B	0,15 B	0,12 B	0,17 B	0,33 B	0,25 B	0,16 B	0,31 B	0,22 B	0,16 B	0,20 B
+Mn	0,22 B	0,20 B	0,18 B	0,23 B	0,15 B	0,15 B	0,13 B	0,16 B	0,32 B	0,24 B	0,16 B	0,31 B	0,22 B	0,16 B	0,20 B
+Zn	0,23 B	0,18 B	0,17 B	0,24 B	0,14 B	0,15 B	0,13 B	0,16 B	0,34 B	0,24 B	0,16 B	0,31 B	0,21 B	0,17 B	0,20 B
+M	0,32 A	0,30 A	0,30 A	0,36 A	0,27 A	0,28 A	0,23 A	0,28 A	0,48 A	0,35 A	0,28 A	0,44 A	0,32 A	0,29 A	0,32 A
Média <sup>(3)</sup>	0,26 de	0,22 f	0,22 fg	0,27 c	0,18 i	0,19 hi	0,15 j	0,20 gh	0,37 a	0,27 cd	0,19 hi	0,34 b	0,25 e	0,19 hi	0,23 <sup>(4)</sup>
----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,33 B	0,30 BC	0,11 B	0,15 B	0,37 B	0,33 B	1,75 B	0,23 B	0,48 B	0,63 B	0,19 B	0,33 B	0,58 B	3,99 B	0,54 B
+B	0,30 BC	0,24 C	0,13 B	0,15 B	0,37 B	0,32 B	1,80 B	0,21 B	0,48 B	0,69 B	0,16 B	0,35 B	0,63 B	4,05 B	0,54 B
+Cu	0,70 A	0,71 A	0,51 A	0,44 A	0,83 A	0,77 A	2,44 A	0,38 A	0,87 A	1,05 A	0,42 A	0,68 A	0,95 A	4,69 A	0,93 A
+Fe	0,30 BC	0,34 B	0,14 B	0,14 B	0,36 B	0,34 B	1,89 B	0,21 B	0,47 B	0,69 B	0,17 B	0,35 B	0,61 B	4,08 B	0,55 B
+Mn	0,25 C	0,26 C	0,12 B	0,15 B	0,38 B	0,34 B	1,82 B	0,21 B	0,47 B	0,67 B	0,16 B	0,35 B	0,60 B	4,12 B	0,53 B
+Zn	0,29 BC	0,27 BC	0,11 B	0,14 B	0,34 B	0,32 B	1,82 B	0,20 B	0,48 B	0,68 B	0,15 B	0,36 B	0,58 B	4,06 B	0,53 B
+M	0,65 A	0,74 A	0,53 A	0,39 A	0,92 A	0,85 A	2,54 A	0,43 A	0,83 A	1,01 A	0,37 A	0,71 A	1,02 A	4,80 A	0,94 A
Média	0,39 h	0,40 h	0,22 j	0,22 j	0,49 f	0,45 g	1,99 b	0,26 i	0,57 e	0,77 c	0,23 j	0,44 g	0,70 d	4,25 a	0,64
----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	59,30 B	54,81 B	50,28 B	51,03 B	41,80 B	26,82 B	17,72 BC	30,14 B	48,19 B	59,97 B	30,67 B	64,56 B	37,60 B	19,24 B	39,35 B
+B	58,18 B	55,06 B	48,69 B	48,39 B	40,76 B	25,80 B	17,05 BC	29,88 B	48,82 B	61,29 B	27,76 C	66,04 B	37,89 B	18,67 B	38,59 B
+Cu	58,39 B	53,61 B	49,85 B	47,86 B	41,69 B	25,74 B	16,51 C	30,98 B	48,29 B	59,76 B	29,71 BC	67,50 B	38,34 B	17,72 B	38,67 B
+Fe	68,70 A	63,91 A	59,33 A	58,26 A	49,94 A	36,61 A	21,18 A	37,89 A	58,03 A	71,23 A	40,42 A	77,22 A	45,79 A	25,10 A	47,93 A
+Mn	58,96 B	56,09 B	49,56 B	48,37 B	42,03 B	26,55 B	17,52 BC	30,37 B	47,59 B	60,95 B	28,72 BC	67,02 B	37,64 B	19,01 B	39,09 B
+Zn	56,49 B	53,50 B	48,93 B	47,89 B	40,56 B	25,34 B	18,57 B	30,10 B	48,45 B	59,38 B	29,33 BC	68,97 B	36,98 B	18,26 B	38,64 B
+M	66,82 A	64,18 A	61,34 A	59,79 A	51,19 A	36,31 A	21,27 A	39,13 A	57,95 A	69,56 A	37,90 A	78,05 A	47,02 A	25,06 A	48,05 A
Média	60,83 b	57,15 c	52,35 d	51,45 d	43,81 e	28,68 h	18,46 j	32,45 g	50,87 d	63,00 b	31,78 g	69,73 a	40,00 f	20,25 i	41,28

**Quadro 33, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- <b>Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm<sup>3</sup></b> -----															
-M	0,47 B	0,94 B	3,14 B	1,47 B	1,61 C	4,41 B	103,68 C	0,73 B	2,57 B	2,26 BC	0,91 B	2,41 B	13,08 B	22,90 B	3,60 CD
+B	0,41 B	0,86 B	2,95 B	1,22 B	1,41 C	4,49 B	104,31 BC	0,64 B	2,48 B	2,04 C	0,87 B	2,34 B	12,39 B	24,20 B	3,44 D
+Cu	0,44 B	1,01 B	2,89 B	1,23 B	1,57 C	4,37 B	103,13 C	0,57 B	2,42 B	2,03 C	0,85 B	2,41 B	13,13 B	22,51 B	3,46 D
+Fe	0,51 B	1,00 B	3,27 B	1,47 B	1,62 C	4,98 B	103,87 C	0,65 B	2,50 B	2,58 B	0,92 B	2,55 B	13,29 B	23,88 B	3,71 C
+Mn	2,47 A	3,11 A	5,67 A	3,29 A	3,10 B	6,77 A	118,91 AB	2,41 A	4,46 A	4,54 A	2,85 A	4,59 A	16,01 A	29,56 A	6,51 B
+Zn	0,55 B	1,12 B	2,92 B	1,40 B	1,62 C	4,84 B	109,36 ABC	0,68 B	2,52 B	2,20 BC	0,99 B	2,57 B	13,43 B	22,92 B	3,68 C
+M	2,84 A	3,34 A	6,25 A	3,43 A	3,73 A	7,23 A	121,48 A	2,56 A	4,48 A	4,40 A	2,62 A	4,86 A	17,12 A	29,53 A	6,81 A
Média	0,91 m	1,46 j	3,71 e	1,81 i	1,99 h	5,21 d	109,02 a	1,05 l	2,98 f	2,74 g	1,31 k	2,99 f	13,98 c	24,92 b	4,30
----- <b>Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm<sup>3</sup></b> -----															
-M	1,71 D	0,90 C	0,48 B	0,29 B	1,02 B	0,55 B	1,31 B	0,47 B	0,34 B	0,46 B	0,24 B	0,31 B	0,36 B	0,25 B	0,57 C
+B	2,04 CD	0,90 C	0,36 BC	0,25 B	0,95 B	0,50 B	1,25 B	0,39 BC	0,29 B	0,49 B	0,24 B	0,24 B	0,34 B	0,29 B	0,55 C
+Cu	2,06 C	0,98 C	0,32 C	0,23 B	1,02 B	0,50 B	1,31 B	0,30 C	0,25 B	0,45 B	0,23 B	0,24 B	0,37 B	0,28 B	0,54 C
+Fe	1,91 CD	0,97 C	0,43 BC	0,33 B	1,08 B	0,57 B	1,29 B	0,37 BC	0,26 B	0,49 B	0,30 B	0,27 B	0,31 B	0,27 B	0,57 C
+Mn	2,10 C	0,97 C	0,36 BC	0,33 B	0,96 B	0,53 B	1,44 B	0,39 BC	0,29 B	0,49 B	0,32 B	0,29 B	0,32 B	0,33 B	0,59 C
+Zn	3,90 B	2,87 B	1,69 A	1,39 A	2,76 A	1,95 A	3,33 A	1,37 A	1,57 A	1,65 A	1,31 A	1,73 A	1,15 A	1,40 A	1,91 B
+M	4,69 A	3,50 A	2,00 A	1,63 A	3,00 A	2,24 A	3,24 A	1,19 A	1,56 A	1,84 A	1,23 A	1,89 A	1,21 A	1,44 A	2,05 A
Média	2,49 a	1,42 c	0,70 e	0,56 fh	1,42 c	0,87 d	1,76 b	0,60 f	0,56 fg	0,76 e	0,49 g	0,59 f	0,54 fg	0,54 fg	0,88
----- <b>Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm<sup>3</sup></b> -----															
-M	0,17 C	0,17 B	0,00 B	0,03 C	0,51 B	0,31 B	2,27 B	0,00 B	0,31 B	0,52 B	0,00 B	0,21 C	0,24 C	6,09 B	0,46 B
+B	0,18 C	0,18 B	0,00 B	0,04 C	0,54 B	0,30 B	2,38 B	0,00 B	0,32 B	0,51 B	0,00 B	0,24 C	0,22 C	6,08 B	0,46 B
+Cu	0,90 A	0,98 A	0,65 A	0,43 B	1,65 A	1,21 A	3,39 A	0,20 A	0,96 A	1,13 A	0,23 A	0,88 A	0,70 A	7,12 A	1,12 A
+Fe	0,26 B	0,20 B	0,00 B	0,03 C	0,48 B	0,32 B	2,29 B	0,00 B	0,35 B	0,52 B	0,00 B	0,22 C	0,22 C	6,16 B	0,47 B
+Mn	0,15 C	0,18 B	0,00 B	0,04 C	0,55 B	0,31 B	2,38 B	0,00 B	0,34 B	0,54 B	0,00 B	0,24 C	0,22 C	6,05 B	0,47 B
+Zn	0,13 C	0,21 B	0,00 B	0,05 C	0,48 B	0,28 B	2,33 B	0,00 B	0,33 B	0,52 B	0,00 B	0,19 C	0,27 C	6,10 B	0,46 B
+M	0,78 A	1,00 A	0,67 A	0,53 A	1,82 A	1,26 A	3,39 A	0,27 A	0,93 A	1,05 A	0,24 A	0,74 B	0,58 B	7,16 A	1,11 A
Média	0,34 g	0,38 f	0,16 h	0,15 h	0,79 c	0,52 e	2,60 b	0,06 i	0,48 e	0,67 d	0,06 i	0,37 fg	0,34 g	6,38 a	0,63

**Quadro 33, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	79,43 C	98,15B	111,58 B	112,28 BC	133,36 AB	44,95 B	19,64 B	72,31 B	74,26 C	53,44 B	36,99 B	90,22 C	29,63 B	36,64 B	62,01 B
+B	79,75 C	99,34 AB	113,93 AB	110,14 C	129,34 AB	43,36 B	19,55 B	74,29 B	73,32 C	51,63 B	37,26 B	91,21 C	27,85 B	37,95 B	61,65 B
+Cu	76,82 C	99,53 AB	114,97 AB	112,00 BC	131,28 AB	43,41 B	19,64 B	75,07 B	74,91 C	52,26 B	37,25 B	92,02 C	28,41 B	35,77 B	61,76 B
+Fe	88,84 AB	109,58 A	122,26 AB	123,20 AB	142,36 A	54,91 A	23,33 A	84,40 A	83,37 A	60,80 A	45,08 A	101,62 AB	35,24 A	44,08 A	71,07 A
+Mn	80,79 BC	98,75 B	114,06 AB	113,61 BC	134,23 AB	44,35 B	19,62 B	75,13 B	76,43 ABC	53,38 B	37,70 B	93,26 BC	28,24 B	37,60 B	62,66 B
+Zn	80,01 C	100,29 AB	113,72 AB	114,80 BC	128,20 B	42,43 B	19,77 B	76,86 AB	75,46 BC	52,88 B	38,56 B	92,36 BC	28,10 B	37,54 B	62,38 B
+M	89,44 A	108,16 AB	123,24 A	127,21 A	141,13 AB	50,87 A	23,89 A	83,14 A	82,76 AB	59,39 A	44,30 A	103,04 A	34,36 A	43,27 A	70,46 A
Média	82,03 e	101,88 c	116,18 b	116,03 b	134,18 a	46,14 h	20,70 k	77,20 f	77,13 f	54,72 g	39,47 i	94,70 d	30,13 j	38,87 i	64,46
----- Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,44 B	0,99 B	3,45 B	1,76 BC	2,05 B	6,77 B	115,68 B	0,72 B	3,35 B	2,87 B	1,00 B	3,43 B	22,86 B	32,73 C	4,44 C
+B	0,36 B	1,02 B	3,36 B	1,60 BC	1,95 B	6,89 B	116,87 B	0,66 B	3,28 B	2,70 B	0,90 B	3,40 B	22,16 B	34,98 BC	4,35 C
+Cu	0,36 B	1,09 B	3,44 B	1,58 C	2,08 B	6,87 B	119,47 AB	0,63 B	3,29 B	2,77 B	0,91 B	3,33 B	22,86 B	31,57 C	4,36 C
+Fe	0,41 B	1,11 B	3,64 B	1,87 B	2,15 B	7,24 B	117,34 B	0,71 B	3,38 B	3,09 B	0,98 B	3,57 B	24,11 B	34,91 BC	4,60 B
+Mn	2,22 A	3,09 A	5,56 A	3,87 A	3,94 A	9,27 A	130,73 A	2,39 A	5,37 A	4,97 A	2,89 A	6,10 A	26,99 A	40,30 A	7,57 A
+Zn	0,40 B	1,12 B	3,49 B	1,71 BC	2,04 B	7,04 B	120,15 AB	0,65 B	3,42 B	2,87 B	0,98 B	3,60 B	22,92 B	33,35 C	4,49 BC
+M	2,53 A	3,29 A	5,78 A	4,20 A	4,38 A	9,42 A	130,60 A	2,53 A	5,60 A	4,97 A	2,80 A	6,35 A	26,95 A	38,73 AB	7,81 A
Média	0,79 m	1,53 j	4,01 ef	2,23 i	2,54 h	7,58 d	121,41 a	1,06 l	3,87 f	3,37 g	1,37 k	4,12 e	24,05 c	35,11 b	5,23
----- Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	4,17 C	2,28 B	0,96 B	0,97 BC	2,33 B	1,39 B	3,30 B	1,62 B	0,90 B	1,37 B	0,73 B	0,66 B	1,27 B	0,69 C	1,46 C
+B	4,73 C	2,08 B	0,72 C	0,82 C	2,40 B	1,36 B	3,28 B	1,49 BC	0,74 BC	1,52 B	0,69 B	0,44 C	1,19 B	0,77 BC	1,39 CD
+Cu	4,56 C	2,30 B	0,74 C	0,75 C	2,36 B	1,31 B	3,27 B	1,27 C	0,75 BC	1,33 B	0,60 B	0,50 BC	1,11 B	0,65 C	1,33 D
+Fe	4,62 C	2,39 B	0,90 BC	1,07 B	2,44 B	1,38 B	3,51 B	1,58 B	0,75 BC	1,37 B	0,69 B	0,57 BC	1,18 B	0,63 C	1,45 C
+Mn	4,64 C	2,35 B	0,84 BC	1,06 B	2,14 B	1,39 B	3,60 B	1,58 B	0,65 C	1,48 B	0,69 B	0,54 BC	1,20 B	0,90 B	1,45 C
+Zn	7,52 B	5,55 A	3,71 A	3,58 A	5,03 A	4,33 A	6,60 A	4,42 A	3,69 A	4,30 A	3,43 A	3,73 A	3,68 A	3,60 A	4,40 B
+M	9,33 A	5,82 A	4,15 A	3,95 A	5,39 A	4,54 A	6,90 A	4,24 A	3,89 A	4,53 A	3,36 A	4,04 A	3,64 A	3,63 A	4,65 A
Média	5,44 a	3,02 c	1,43 fg	1,50 f	2,98 c	2,00 d	4,16 b	2,11 d	1,34 gh	2,04 d	1,21 ij	1,14 j	1,72 e	1,28 hi	2,06

Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. <sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup> e <sup>(4)</sup> os valores são médias de 12, 84 e 1.176 dados, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Observando-se o efeito dos cultivos sucessivos sobre os tratamentos aplicados (Quadro 34) e sobre os teores médios existentes nos diferentes solos trabalhados (Quadro 35), mostra-se que os cultivos diminuíram os teores disponíveis de B, de 0,27 para 0,20 mg/dm<sup>3</sup>, levando os solos C-CU, LVA-EG, C-VII, LVA-BA, LV-CO, LV-SL e LVdf-SSP de um teor considerado médio para outro considerado baixo (<0,20 mg/dm<sup>3</sup>). É importante lembrar, entretanto, que as raízes foram retiradas após cada cultivo para forçar um poder maior de extração dos micronutrientes. Como até 8 % do B nos solos estão ligados na fração matéria orgânica (Hou et al., 1994, 1996) isto pode ter contribuído realmente para uma diminuição mais acelerada nos teores de B do solo. Nos tratamentos que receberam B, a diminuição dos teores foi mais intensa que nos demais tratamentos em que não foi aplicado esse nutriente (Quadro 34).

Esses dados, apesar de obtidos em ambiente controlado e não contar com a ciclagem natural das raízes das plantas, mostram o potencial esgotamento dos solos após poucos cultivos sucessivos. Este fato é mais grave quando o cultivo é feito com culturas mais sensíveis como o algodão, o girassol e o eucalipto.

Para o Cu, o Mehlich-1 e o DTPA pH 7,3 identificaram os tratamentos onde foi aplicado esse micronutriente, em todos os solos, sem nenhuma sobreposição de médias com os tratamentos que não o receberam (Quadro 33). Na média geral de todos os tratamentos, solos e cultivos, os teores de Cu extraídos dos tratamentos que não receberam esse elemento foram maiores quando estimados com o DTPA; entretanto, nas amostras que o receberam o Mehlich-1 conseguiu recuperar maior quantidade do elemento. Na média de todos os tratamentos, o DTPA extraiu 0,64 mg/dm<sup>3</sup> e o Mehlich-1, 0,63 mg/dm<sup>3</sup>. Como indicado no quadro 9, a fração Cu-MO participou com 2,4 % dos teores totais de Cu, na média de todos os solos estudados. Esta reserva é a principal fonte de Cu para os extratores usados e explicaram 86 % e 65 %, respectivamente, da variação dos teores disponíveis por DTPA e Mehlich-1, explicando a razão dos maiores teores retirados por DTPA em condições naturais, pois o DTPA compete fortemente pelo Cu-MO, porém com a aplicação do Cu e sua redistribuição nas frações Cu-MO, Cu-OxMn e Cu-OxFeA (Quadro 29), o Mehlich-1

**Quadro 34. Médias de solos para os teores de B disponível por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L e de Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1 em função dos cultivos para os tratamentos utilizados**

CULTIVO	TRATAMENTO							Média
	-M	+B	+Cu	+Fe	+Mn	+Zn	+M	
	-----B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0 <sup>(1)</sup>	0,24 Ab <sup>(2)</sup>	0,39 Aa	0,23 Ab	0,23 Ab	0,23 Ab	0,23 Ab	0,38 Aa	0,27 A
1	0,18 Cb	0,31 Ca	0,18 Bb	0,18 Bb	0,18 Bb	0,18 Bb	0,30 Ca	0,21 C
2	0,21 Bb	0,34 Ba	0,22 Ab	0,23 Ab	0,22 Ab	0,22 Ab	0,34 Ba	0,25 B
3	0,17 Cb	0,26 Da	0,17 Bb	0,18 Bb	0,17 Bb	0,17 Bb	0,26 Da	0,20 D
Média <sup>(3)</sup>	0,20 b	0,32 a	0,20 b	0,20 b	0,20 b	0,20 b	0,32 a	0,23 <sup>(4)</sup>
	----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0	0,75 Abc	0,75 Abc	1,33 Aa	0,80 Ab	0,73 Ac	0,73 Bc	1,33 Aa	0,90 A
1	0,77 Ab	0,79 Ab	1,26 Ba	0,76 Ab	0,78 Ab	0,79 Ab	1,26 Ba	0,90 A
2	0,34 Bb	0,34 Bb	0,61 Ca	0,34 Bb	0,34 Bb	0,33 Cb	0,63 Ca	0,41 B
3	0,34 Bb	0,34 Bb	0,63 Ca	0,36 Bb	0,35 Bb	0,33 Cb	0,66 Ca	0,42 B
Média	0,54 b	0,54 b	0,93 a	0,55 b	0,53 b	0,53 b	0,94 a	0,64
	----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0	38,95 Bb	38,36 Bb	38,35 Cb	48,80 Ba	39,07 Bb	39,00 Bb	48,72 Ba	41,38 C
1	42,33 Ab	41,06 Ab	40,74 Bb	50,82 ABa	41,37 Ab	40,90 Ab	50,43 Ba	43,76 B
2	33,63 Cb	32,99 Cb	32,81 Db	40,66 Ca	33,55 Cb	32,81 Cb	41,10 Ca	35,20 D
3	43,21 Ab	42,67 Ab	43,60 Ab	52,32 Aa	43,04 Ab	42,56 Ab	52,78 Aa	45,55 A
Média	39,35 b	38,59 b	38,67 b	47,93 a	39,09 b	38,64 b	48,05 a	41,28
	----- Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0	3,26 Bb	3,10 Bb	3,08 Cb	3,19 Cb	5,82 Ba	3,32 Bb	6,23 BCa	3,85 C
1	4,59 Ab	4,36 Ab	4,40 Ab	4,65 Ab	8,54 Aa	4,68 Ab	8,95 Aa	5,50 A
2	3,45 Bb	3,34 Bb	3,41 Bb	3,61 Bb	6,11 Ba	3,54 Bb	6,50 Ba	4,14 B
3	3,23 Bbc	3,10 Bc	3,08 Cc	3,50 Bb	5,86 Ba	3,31 Bbc	5,91 Ca	3,87 C
Média	3,60 cd	3,44 d	3,46 d	3,71 c	6,51 b	3,68 c	6,81 a	4,30
	----- Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0	0,47 Cb	0,45 Cb	0,46 Cb	0,44 Cb	0,48 Cb	1,96 Ba	1,99 Ca	0,79 C
1	0,64 Bb	0,60 Bb	0,60 Bb	0,59 Bb	0,63 Bb	2,04 ABa	2,22 Ba	0,95 B
2	0,46 Cb	0,44 Cb	0,44 Cb	0,47 Cb	0,47 Cb	1,48 Ca	1,61 Da	0,71 D
3	0,74 Acd	0,72 Acd	0,69 Ad	0,81 Ac	0,79 Acd	2,20 Ab	2,47 Aa	1,10 A
Média	0,57 c	0,55 c	0,54 c	0,57 c	0,59 c	1,91 b	2,05 a	0,88
	----- Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0	0,35 Db	0,37 Bb	1,03 Ca	0,36 Cb	0,37 Cb	0,36 Cb	1,00 Ba	0,52 D
1	0,57 Ab	0,56 Ab	1,32 Aa	0,57 Ab	0,56 Ab	0,53 Ab	1,29 Aa	0,74 A
2	0,41 Cb	0,41 Bb	1,01 Ca	0,41 Bb	0,42 Bb	0,41 Bb	0,95 Ba	0,55 C
3	0,51 Bc	0,53 Ac	1,13 Bb	0,55 Ac	0,54 Ac	0,54 Ac	1,24 Aa	0,70 B
Média	0,46 b	0,46 b	1,12 a	0,47 b	0,47 b	0,46 b	1,11 a	0,63
	----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----							
0	59,62 Bb	59,92 Bb	59,81 Bb	68,57 Ba	60,20 Bb	59,81 Bb	68,37 Ba	62,21 C
1	66,43 Ab	65,65 Ab	65,87 Ab	75,16 Aa	66,26 Ab	66,28 Ab	74,32 Aa	68,46 A
2	58,06 Bb	57,61 Bb	57,32 Bb	67,16 Ba	58,75 Bb	58,48 Bb	66,73 Ba	60,46 D
3	64,30 Ab	63,74 Ab	64,42 Ab	73,70 Aa	65,77 Ab	65,30 Ab	72,70 Aa	67,03 B
Média	62,01 b	61,65 b	61,76 b	71,07 a	62,66 b	62,38 b	70,46 a	64,46

**Quadro 34, Cont.**

CULTIVO	TRATAMENTO							Média
	-M	+B	+Cu	+Fe	+Mn	+Zn	+M	
	----- <b>Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm<sup>3</sup></b> -----							
0	4,71 Bb	4,69 Bb	4,60 Bb	4,80 Bb	8,32 Aa	4,82 Bb	8,52 Ba	5,60 B
1	3,47 Cb	3,46 Db	3,51 Cb	3,63 Cb	5,88 Ca	3,59 Db	6,05 Da	4,12 D
2	5,21 Abc	5,03 Ac	5,11 Abc	5,46 Ab	8,64 Aa	5,28 Abc	9,10 Aa	6,09 A
3	4,54 Bbc	4,35 Cc	4,34 Bc	4,69 Bb	7,74 Ba	4,41 Cbc	7,89 Ca	5,26 C
Média	4,44 c	4,35 c	4,36 c	4,60 b	7,57 a	4,49 bc	7,81 a	5,23
	----- <b>Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm<sup>3</sup></b> -----							
0	3,90 Ab	3,80 Abc	3,57 Ac	3,52 Ac	3,75 Abc	11,21 Aa	11,51 Aa	5,20 A
1	0,91 Cb	0,82 Cbc	0,79 Cc	0,91 Cb	0,91 Cb	3,56 Ba	3,74 Ba	1,42 B
2	0,93 BCbc	0,87 Cc	0,90 Bbc	0,99 BCb	0,95 BCbc	3,02 Ca	3,27 Ca	1,40 B
3	1,02 Bbc	0,99 Bbc	0,91 Bc	1,09 Bb	1,04 Bb	2,79 Da	3,01 Da	1,43 B
Média	1,46 c	1,39 cd	1,33 d	1,45 c	1,45 c	4,40 b	4,65 a	2,06

<sup>(1)</sup> 0 – após a incubação do solo com as doses aplicadas dos micronutrientes em estudo; 1, 2 e 3 – analisado após cada cultivo sucessivo com milho. <sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup> e <sup>(4)</sup>: Valores médios de 42, 168 e 1176 dados, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. -M sem e +M com todos os micronutrientes juntos.

**Quadro 35. Médias dos tratamentos para os teores de B disponível por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L e de Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1, em função dos cultivos para os solos<sup>(1)</sup> utilizados**

CULTIVO	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0 <sup>(2)</sup>	0,30 <sup>(3)</sup> A	0,25 A	0,25 A	0,33 A	0,20 A	0,18 B	0,18 A	0,24 A	0,44 A	0,31 A	0,21 A	0,37 A	0,34 A	0,27 A	0,27 A
1	0,25 B	0,20 B	0,20 B	0,25 B	0,17 B	0,17 B	0,12 B	0,20 B	0,34 B	0,25 B	0,16 B	0,32 B	0,23 B	0,16 C	0,21 C
2	0,27 B	0,24 A	0,24 A	0,30 A	0,22 A	0,23 A	0,19 A	0,19 B	0,37 B	0,27 B	0,22 A	0,38 A	0,25 B	0,20 B	0,25 B
3	0,21 C	0,19 B	0,18 B	0,23 B	0,14 B	0,16 B	0,11 B	0,17 B	0,33 B	0,25 B	0,18 B	0,31 B	0,17 C	0,14 C	0,20 D
Média <sup>(4)</sup>	0,26 de	0,22 f	0,22 fg	0,27 c	0,18 i	0,19 hi	0,15 j	0,20 gh	0,37 a	0,27 cd	0,19 hi	0,34 b	0,25 e	0,19 hi	0,23 <sup>(5)</sup>
----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	0,62 B	0,61 A	0,38 A	0,33 B	0,66 A	0,63 A	2,33 A	0,46 B	0,83 A	1,22 A	0,41 A	0,67 A	1,08 A	5,47 A	0,90 A
1	0,71 A	0,56 A	0,38 A	0,47 A	0,67 A	0,60 A	2,40 A	0,57 A	0,89 A	1,05 B	0,44 A	0,63 A	0,95 B	4,98 B	0,90 A
2	0,16 C	0,23 B	0,10 B	0,06 C	0,32 B	0,29 B	1,64 B	0,07 C	0,31 B	0,43 D	0,06 B	0,26 B	0,42 C	3,37 C	0,41 B
3	0,17 C	0,23 B	0,08 B	0,06 C	0,35 B	0,31 B	1,68 B	0,03 C	0,35 B	0,50 C	0,04 B	0,25 B	0,46 C	3,48 C	0,42 B
Média	0,39 h	0,40 h	0,22 j	0,22 j	0,49 f	0,45 g	1,99 b	0,26 i	0,57 e	0,77 c	0,23 j	0,44 g	0,70 d	4,25 a	0,64
----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	56,62 C	51,79 B	50,38 B	50,59 B	38,28 C	26,26 C	14,33 C	38,38 A	56,05 A	78,67 A	38,08 A	74,61 AB	41,74 AB	19,17 C	41,38 C
1	70,15 A	63,98 A	55,36 A	55,88 A	48,63 C	30,99 B	17,45 B	35,66 B	53,01 AB	64,69 B	32,87 B	70,88 B	40,91 B	21,47 B	43,76 B
2	52,89 D	51,01 B	47,71 B	43,94 C	37,51 B	24,28 D	18,37 B	25,83 D	43,32 C	46,85 C	25,33 C	57,67 C	33,79 C	17,77 D	35,20 D
3	65,14 B	63,09 A	56,43 A	56,38 A	52,71 A	34,22 A	25,20 A	31,31 C	52,00 B	66,00 B	32,11 B	77,51 A	44,35 A	22,95 A	45,55 A
Média	60,83 b	57,15 c	52,35 d	51,45 d	43,81 e	28,68 h	18,46 j	32,45 g	50,87 d	63,00 b	31,78 g	69,73 a	40,00 f	20,25 i	41,28
----- Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	0,94 B	1,37 B	3,28 B	1,99 A	2,25 A	4,52 B	94,95 C	0,96 B	2,70 B	2,27 B	1,21 B	2,47 C	10,48 C	18,12 C	3,85 C
1	1,28 A	1,99 A	4,82 A	2,22 A	2,54 A	7,03 A	95,56 C	1,48 A	4,39 A	3,93 A	1,86 A	4,27 A	14,53 B	43,81 A	5,50 A
2	0,78 C	1,27 B	3,28 B	1,51 B	1,73 B	4,91 B	112,59 B	0,90 B	2,66 B	2,50 B	1,15 B	2,87 B	18,75 A	27,34 B	4,14 B
3	0,70 C	1,29 B	3,61 B	1,57 B	1,55 B	4,68 B	138,21 A	0,90 B	2,42 B	2,48 B	1,11 B	2,58 BC	13,31 B	17,60 C	3,87 C
Média	0,91 m	1,46 j	3,71 e	1,81 i	1,99 h	5,21 d	109,02 a	1,05 l	2,98 f	2,74 g	1,31 k	2,99 f	13,98 c	24,92 b	4,30

**Quadro 35, Cont.**

CULTIVO	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	2,55 B	1,13 C	0,67 B	0,54 AB	1,50 A	0,78 B	1,58 B	0,41 C	0,49 B	0,60 C	0,38 C	0,45 C	0,52 B	0,50 B	0,79 C
1	2,90 A	1,52 B	0,71 AB	0,62 A	1,43 A	0,88 B	1,52 B	0,65 B	0,67 A	0,88 B	0,53 B	0,69 B	0,64 A	0,64 A	0,95 B
2	2,27 C	1,28 C	0,60 B	0,48 B	1,20 B	0,77 B	1,71 B	0,44 C	0,38 C	0,56 C	0,28 C	0,41 C	0,32 C	0,31 C	0,71 D
3	2,29 BC	1,80 A	0,84 A	0,60 AB	1,57 A	1,05 A	2,30 A	0,93 A	0,74 A	1,06 A	0,83 A	0,86 A	0,71 A	0,74 A	1,10 A
Média	2,49 a	1,42 c	0,70 e	0,56 fh	1,42 c	0,87 d	1,76 b	0,60 f	0,56 fg	0,76 e	0,49 g	0,59 f	0,54 fg	0,54 fg	0,88
----- Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	0,17 B	0,22 C	0,14 B	0,11 BC	0,78 B	0,23 C	2,73 A	0,01 C	0,29 C	0,64 B	0,03 B	0,19 D	0,16 C	7,09 A	0,52 D
1	0,47 A	0,54 A	0,17 AB	0,14 B	0,92 A	0,69 A	2,83 A	0,08 AB	0,61 A	0,86 A	0,08 A	0,44 B	0,50 A	7,29 A	0,74 A
2	0,22 B	0,29 B	0,13 B	0,07 C	0,60 C	0,48 B	2,46 B	0,04 BC	0,47 B	0,62 B	0,07 AB	0,25 C	0,33 B	5,99 B	0,55 C
3	0,51 A	0,49 A	0,19 A	0,29 A	0,89 A	0,76 A	2,41 B	0,12 A	0,57 A	0,55 C	0,07 AB	0,62 A	0,38 B	5,33 C	0,70 B
Média	0,34 g	0,38 f	0,16 h	0,15 h	0,79 c	0,52 e	2,60 b	0,06 i	0,48 e	0,67 d	0,06 i	0,37 fg	0,34 g	6,38 a	0,63
----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	86,84 A	104,89 B	124,81 A	116,38 B	152,77 B	44,65 BC	18,61 C	78,15 B	72,66 B	44,51 D	33,95 C	90,41 B	26,03 C	36,54 C	62,21 C
1	86,92 A	112,74 A	127,60 A	128,63 A	167,21 A	49,96 A	20,45 B	85,21 A	81,82 A	51,85 C	38,92 B	104,82 A	27,71 C	42,43 A	68,46 A
2	71,09 B	91,94 C	103,57 B	105,27 C	109,86 C	42,67 C	20,04 B	69,16 C	73,91 B	59,60 B	41,40 B	85,65 B	31,06 B	37,55 BC	60,46 D
3	84,37 A	99,08 B	110,43 B	115,01 B	115,43 C	47,59 AB	24,08 A	77,12 B	80,53 A	65,15 A	44,33 A	99,08 A	36,74 A	39,18 B	67,03 B
Média	82,03 e	101,88 c	116,18 b	116,03 b	134,18 a	46,14 h	20,70 k	77,20 f	77,13 f	54,72 g	39,47 i	94,70 d	30,13 j	38,87 i	64,46
----- Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	0,76 B	1,73 A	4,06 B	2,44 A	3,52 A	8,39 A	105,63 C	1,28 A	4,27 A	3,29 C	1,51 B	4,55 A	25,59 B	40,57 B	5,60 B
1	0,66 B	1,16 C	3,05 C	1,74 B	2,17 C	6,25 C	68,34 D	0,90 B	3,10 C	2,54 D	1,03 D	3,29 C	16,97 C	30,17 C	4,12 D
2	1,02 A	1,78 A	4,44 A	2,41 A	2,56 B	8,53 A	161,30 B	1,26 A	4,56 A	4,14 A	1,70 A	4,64 A	31,32 A	44,01 A	6,09 A
3	0,76 B	1,49 B	4,67 A	2,39 A	2,10 C	7,35 B	186,10 A	0,84 B	3,67 B	3,68 B	1,30 C	4,12 B	24,50 B	28,13 C	5,26 C
Média	0,79 m	1,53 j	4,01 ef	2,23 i	2,54 h	7,58 d	121,41 a	1,06 l	3,87 f	3,37 g	1,37 k	4,12 e	24,05 c	35,11 b	5,23

### Quadro 35, Cont.

CULTIVO	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
0	12,60 A	7,18 A	3,29 A	3,66 A	8,47 A	5,24 A	9,72 A	5,50 A	3,59 A	5,30 A	3,04 A	2,75 A	5,43 A	3,79 A	5,20 A
1	4,63 B	2,15 B	1,12 B	0,98 B	2,09 B	1,22 C	2,98 B	1,37 C	0,79 C	1,52 B	0,62 C	0,70 C	1,20 B	0,82 B	1,42 B
2	3,99 C	2,19 B	0,92 C	1,12 B	1,97 B	1,53 B	3,11 B	1,27 C	0,87 BC	1,25 C	0,86 B	0,75 BC	0,93 C	0,76 B	1,40 B
3	3,50 D	2,17 B	1,00 BC	0,99 B	1,88 B	1,30 C	3,05 B	1,67 B	0,94 B	1,39 BC	0,96 B	0,88 B	0,99 C	0,78 B	1,43 B
Média	5,44 a	3,02 c	1,43 fg	1,50 f	2,98 c	2,00 d	4,16 b	2,11 d	1,34 gh	2,04 d	1,21 ij	1,14 j	1,72 e	1,28 hi	2,06

<sup>(1)</sup>Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. <sup>(2)</sup> 0 – após a incubação do solo com as doses aplicadas dos micronutrientes em estudo; 1, 2 e 3 – analisado após cada cultivo sucessivo com milho. <sup>(3)</sup>, <sup>(4)</sup> e <sup>(5)</sup> os valores são médias de 21, 84 e 1.176 dados, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

extraiu maiores quantidades, pois sua acidez lhe permite solubilizar o Cu que se adsorve nos componentes inorgânicos do solo, como será visto mais adiante, ao se relacionar os teores extraídos por esse extrator com os teores das frações de Cu, principalmente no conjunto de todos os solos; tal comportamento mostra que os extratores retiram o Cu de frações químicas diferentes, dependendo da sua distribuição nos componentes do solo, apesar do valores médios de Cu extraídos serem muito próximo entre eles.

Apesar da ordem de grandeza dos valores ser diferente, pode-se observar que os teores de Cu variaram de um cultivo para outro, de modo errático, mas com tendência decrescente para o DTPA e, de modo indefinido, para o Mehlich-1 e na maioria dos solos trabalhados (Quadros 34 e 35). Este comportamento de sobe e desce pode ser devido a problemas no preparo da amostra como demonstrado por Shuman (1980) ou mesmo com o manejo da adubação com P durante a condução dos cultivos, uma vez que, dado o aparecimento de sintomas visuais de deficiências deste nutriente, foi necessária a aplicação de maiores doses de P, como discutido no Material e Métodos. Sabe-se que a adsorção do Cu é influenciada pela presença de altos teores de P no meio, pois esse elemento cria cargas na superfície dos colóides da fração argila, especialmente dos óxidos de Al, Fe e Mn, que atraem o Cu e o fixam especificamente, reduzindo a quantidade extraída pelas plantas e pelos extratores do disponível (Haldar & Mandal, 1981). Apesar dessa variação, os extratores DTPA e o Mehlich-1 discriminaram bem os tratamentos antes e depois de todos os cultivos realizados (Quadro 34).

Considerando-se os limites de interpretação de  $<0,2$  (baixo),  $0,3-0,8$  (médio) e  $> 0,8 \text{ mg/dm}^3$  (alto) para Cu extraído com DTPA pH 7,3 no Estado de São Paulo, os solos RU-SF, LV-BII, LV-SL e LVdf-SSP tinham teores altos e os demais teores médios no início do experimento mas, após o último cultivo, apenas os solos LV-BO, LV-BII e LV-SL tinham valores médios e os solos RU-SF e LVdf-SSP, altos. Os demais solos tiveram seus valores diminuídos para menos de  $0,3 \text{ mg/dm}^3$ .

Para Mehlich-1, os limites de interpretação são:  $<0,4$  (baixo),  $0,5-0,8$  (médio) e  $> 0,8 \text{ mg/dm}^3$  (alto), segundo Lopes & Abreu (2000). Os solos C-VII e

LV-BII eram médios e os solos RU-SF e LVdf-SSP, altos; os demais eram baixos antes do primeiro cultivo. Após o último cultivo, os solos C-VII, LVA-VII, LV-BO e LVA-BV eram médios, os solos RU-SF e LVdf-SSP altos e os demais permaneciam baixos. Alguns solos ficaram no limite das classes baixa e média. Não foi possível caracterizar com precisão o esgotamento de Cu com os cultivos sucessivos. Os solos LVA-EG, CI-FO, LVA-BA e LV-CO foram os que apresentaram os menores teores disponíveis estimados por ambos os extratores. As plantas de milho cultivadas nesses solos mostraram sintomas de deficiência de Cu, como será discutido mais adiante.

Este comportamento diferente dos extratores frente aos tratamentos aplicados recomenda uma análise mais criteriosa na sua padronização local, para fins de recomendação da análise de solo.

Para o Fe, o DTPA pH 7,3 teve boa capacidade de discriminação dos tratamentos, com nenhuma sobreposição das médias das amostras que receberam o Fe, com aquelas que não o receberam. Por outro lado, o Mehlich-1 apresentou dificuldade em separar os tratamentos que receberam Fe nos solos LVA-EG, C-VII e LV-BO (Quadro 33) devido, provavelmente, ao fato de que o Mehlich-1 extraiu maior quantidade de Fe das amostras que o DTPA e com maior coeficiente de variação nos dados. Do mesmo modo que ocorreu com os demais micronutrientes catiônicos, os valores foram erráticos entre os cultivos utilizados, com tendência de aumento com os cultivos sucessivos, porém sem consistência nos resultados. Na média, ambos os extratores discriminaram bem os tratamentos durante os cultivos sucessivos (Quadro 34).

Todos os solos tiveram teores de Fe acima de  $12 \text{ mg/dm}^3$  por DTPA, durante todas as fases do experimento (Quadros 33, 34 e 35). Esses valores são considerados altos por Raij et al. (1996) e refletem as boas condições de fertilidade neste nutriente, na maioria dos solos brasileiros, cuja presença de cultivos com deficiência é rara ou inexistente (Lopes & Abreu, 2000; Borkert et al., 2001), exceto nos solos da Região Sudeste, onde se cultiva café, nos quais a deficiência de Fe é induzida por altas adubações fosfatadas. Em termos médios, O DTPA pH 7,3 extraiu  $41,28 \text{ mg/dm}^3$  de Fe e o Mehlich-1,  $64,46 \text{ mg/dm}^3$ . O Mehlich-1,

devido à sua forte acidez, extrai maiores teores de Fe que o DTPA, como esperado. O limite crítico sugerido no Estado de Minas Gerais para o uso do extrator Mehlich-1, é  $30 \text{ mg/dm}^3$  (Alvarez V. et al., 1999). Os solos RU-SF e LV-SL, apresentaram teores abaixo desses valores (Quadro 33) porém não mostraram sintomas visuais de deficiência de Fe.

Os extratores tiveram sensibilidade parecida na extração de Mn do solo (Quadro 33). Apesar do DTPA distinguir com maior acuidade as amostras que receberam Mn, esse extrator teve dificuldade quando os teores originais dos solos eram elevados, como no RU-SF, cujos teores médios foram de  $109,02 \text{ mg/dm}^3$ . O Mehlich-1 discriminou menos os tratamentos que receberam Mn, principalmente no RU-SF e no LVdf-SSP. O DTPA extraiu um teor médio de  $4,30 \text{ mg/dm}^3$  de Mn e o Mehlich-1,  $5,23 \text{ mg/dm}^3$ . Como os dados apresentaram problemas de heterocedasticidade e não seguiram a distribuição normal, eles foram transformados em  $y = \ln(x+1)$  previamente para execução das análises estatísticas. Os valores médios foram então recalculados, daí não corresponderem diretamente ao valor da média aritmética dos dados nos quadros 29 a 39 e nos apêndices.

Do mesmo modo que aconteceu com o Fe, os valores de Mn foram erráticos e diferentes entre os cultivos, sem definir uma tendência consistente (Quadros 34 e 35). Provavelmente, os problemas existentes no manuseio das amostras se tenham manifestado nesses resultados (Borkert et al., 2001), já que elas foram encubadas por 30 dias, passaram por três cultivos sucessivos, cinco secagens e diferentes períodos de armazenamento. Também, a adição de maiores doses de P entre os cultivos pode ter influenciado esses resultados.

Os limites de interpretação dos teores de Mn para o DTPA pH 7,3 em São Paulo são de 0,0 a 1,2 (baixo), 1,3 a 5,0 (médio) e acima de 5,0  $\text{mg/dm}^3$  (alto) (Raij et al., 1996). Os solos LVA-AC, C-CU, LVA-BA e LV-CO apresentaram teores baixos, os solos LVA-EG, Cl-FO, C-VII, LVA-VII, LV-BO, LV-BII e LVA-BV apresentaram teores médios e os demais, altos teores de Mn antes do primeiro cultivo. O RU-SF apresentou teores de  $94,95 \text{ mg/dm}^3$ , valor provavelmente tóxico para a maioria das plantas. Esses valores foram pouco alterados no final dos três cultivos.

Os limites de interpretação para Mehlich-1 é de 0,0 a 1,9 (baixo), 2,0 a 5,0 (médio) e >5,0 mg/dm<sup>3</sup> (alto) (Lopes & Abreu, 2000). Os solos LVA-AC, C-CU, CI-FO, LVA-BA e LV-CO apresentaram teores baixos, os solos LVA-EG, C-VII, LV-BO, LV-BII e LVA-BV mostraram teores médios, e os demais, altos (Quadro 1A); entretanto, o RU-SF apresentou teores médios de 105,63 mg/dm<sup>3</sup>; após os três cultivos sucessivos, apenas o LVA-BA diminuiu seus teores para < 2,0 mg/dm<sup>3</sup>, ao contrário do RU-SF, que aumentou seus valores para 186,10 mg/dm<sup>3</sup>.

Ambos os extratores foram sensíveis aos tratamentos com aplicação de Zn (Quadro 33), porém os teores com Mehlich-1 foram decrescentes com os cultivos sucessivos, ao contrário dos teores extraídos por DTPA pH 7,3, que aumentaram (Quadros 34 e 35). Os extratores discriminaram bem os efeitos dos tratamentos, independente dos cultivos utilizados (Quadros 34).

#### **4.2.3. Resposta do Milho à aplicação de micronutrientes em três cultivos sucessivos**

Conforme os quadros 36 a 39, o milho absorveu diferentemente os diversos micronutrientes do solo, discriminando bem as doses aplicadas nos tratamentos usados. Nos quadros 36 e 37, observa-se que o Cu foi o único micronutriente que teve efeito significativo e positivo sobre a produção de matéria seca, em especial nos solos LVA-EG, CI-FO, LVA-BA e LV-CO. Este efeito foi mais evidente no último cultivo utilizado, cuja produção de matéria seca foi maior que nos cultivos anteriores (Quadro 37), e na análise acumulada dos três cultivos (Quadro 39). Esses solos correspondem àqueles que tinham os mais baixos valores de Cu pelo extrator Mehlich-1 e DTPA. Sintomas visuais de deficiência apareceram nos tratamentos que não receberam Cu e foram mais graves naqueles tratamentos em que foram aplicados Fe, Mn e Zn; este efeito evidencia competição na absorção entre os nutrientes, pela membrana plasmática das células radiculares. Provavelmente, esses elementos são absorvidos por meio de uniporte em canais iônicos na membrana, sobretudo em maiores concentrações (Marschner, 1995); entretanto, em baixa concentração é possível

**Quadro 36. Médias de cultivos para a produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos tratamentos (TRAT) para os solos<sup>(1)</sup> utilizados**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- <b>Matéria Seca, em g/vaso</b> -----															
-M	9,41 A <sup>(2)</sup>	9,38 A	6,03 B	7,59 AB	10,30 A	10,23 A	12,85 A	5,56 B	9,51 A	8,81 A	8,09 BC	9,86 A	12,99 A	10,17 A	9,13 B
+B	9,62 A	9,57 A	6,61 B	7,20 B	10,75 A	9,70 A	12,69 A	5,75 B	9,83 A	9,87 A	7,70 C	9,31 A	13,64 A	11,10 A	9,31 B
+Cu	10,38 A	9,31 A	8,97 A	8,93 A	10,72 A	9,86 A	12,55 A	8,12 A	10,24 A	9,04 A	9,37 AB	9,92 A	13,82 A	11,59 A	10,11 A
+Fe	9,29 A	9,44 A	6,79 B	6,16 C	10,89 A	10,01 A	13,34 A	5,26 B	10,08 A	9,24 A	7,16 C	9,53 A	13,70 A	10,61 A	9,11 B
+Mn	10,06 A	9,58 A	6,74 B	6,98 BC	11,17 A	9,94 A	12,19 A	5,77 B	9,63 A	9,19 A	7,69 C	10,38 A	13,17 A	11,28 A	9,34 B
+Zn	9,38 A	8,63 A	6,67 B	6,73 BC	10,87 A	9,81 A	12,53 A	6,05 B	10,09 A	9,22 A	7,74 C	10,42 A	13,46 A	11,48 A	9,28 B
+M	9,37 A	9,64 A	9,32 A	8,76 A	10,71 A	10,20 A	12,02 A	8,20 A	10,18 A	9,80 A	10,03 A	10,17 A	13,63 A	11,58 A	10,18 A
Média <sup>(3)</sup>	9,64 c	9,36 c	7,23 e	7,43 e	10,77 b	9,96 c	12,59 a	6,30 f	9,947 c	9,30 c	8,21 d	9,93 c	13,49 a	11,11 b	9,49 <sup>(4)</sup>
----- <b>Teor de B, em mg/kg</b> -----															
-M	20 A	21 A	25 A	25 A	17 A	17 A	16 A	32 A	24 A	24 A	22 A	21 A	19 A	20 A	21 B
+B	28 A	27 A	25 A	30 A	18 A	23 A	20 A	36 A	30 A	28 A	28 A	23 A	24 A	23 A	26 A
+Cu	22 A	19 A	18 A	22 A	15 A	21 A	15 A	25 A	23 A	23 A	24 A	22 A	20 A	19 A	20 B
+Fe	21 A	22 A	23 A	22 A	17 A	25 A	15 A	29 A	23 A	19 A	25 A	24 A	22 A	20 A	22 B
+Mn	18 A	19 A	22 A	21 A	15 A	22 A	16 A	27 A	24 A	23 A	21 A	22 A	23 A	20 A	21 B
+Zn	24 A	19 A	24 A	27 A	15 A	19 A	15 A	29 A	25 A	26 A	22 A	18 A	22 A	24 A	22 B
+M	27 A	25 A	24 A	31 A	20 A	22 A	18 A	27 A	31 A	23 A	26 A	25 A	25 A	25 A	25 A
Média	23 bc	21 bc	23 bc	25 ab	17 d	21 c	16 d	29 a	25 ab	24 bc	24 bc	22 bc	22 bc	21 bc	22
----- <b>Conteúdo de B, em µg/vaso</b> -----															
-M	189 A	192 AB	150 A	191ABC	170 A	168 A	208 A	179 A	228 A	210 AB	177 AB	203 A	243 A	197 A	192 B
+B	264 A	261 A	163 A	215 AB	193 A	221 A	254 A	206 A	295 A	273 A	216 AB	215 A	321 A	258 A	236 A
+Cu	231 A	179 AB	157 A	198ABC	154 A	204 A	190 A	200 A	231 A	206 AB	220 AB	213 A	278 A	223 A	204B
+Fe	192 A	206 AB	155 A	136 C	187 A	247 A	196 A	153 A	233 A	174 B	177 AB	223 A	306 A	208 A	195 B
+Mn	183 A	177 AB	146 A	148 BC	165 A	218 A	198 A	155 A	225 A	207 AB	158 B	227 A	301 A	226 A	191 B
+Zn	219 A	159 B	156 A	180ABC	157 A	187 A	182 A	174 A	248 A	238 AB	173 AB	190 A	296 A	270 A	198 B
+M	250 A	235 AB	225 A	265 A	216 A	219 A	209 A	222 A	313 A	219 AB	260 A	256 A	345 A	285 A	249 A
Média	216 bcd	199 cde	163 f	186 def	176 ef	208 cde	204 cde	183 def	251 ab	216 bcd	194 def	217 bcd	297 a	236 bc	208

**Quadro 36, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Teor de Cu, em mg/kg -----															
-M	0,99 BC	0,84 B	0,27 B	0,33 B	2,49 B	1,18 B	3,48 A	0,21 B	0,89 B	0,74 A	0,17 B	0,47 C	1,05BC	6,88 A	1,05 C
+B	0,93 BC	0,93 B	0,28 B	0,32 B	2,06 B	1,56 B	4,04 A	0,17 B	0,82 B	0,80 A	0,23 B	0,61 BC	1,01BC	6,72 A	1,08 C
+Cu	1,93 A	3,01 A	2,03 A	1,86 A	4,63 A	3,39 A	4,85 A	1,27 A	1,92 A	1,15 A	0,97 A	1,25 A	1,83A	7,08 A	2,34 A
+Fe	0,75 C	0,91 B	0,32 B	0,35 B	1,94 B	1,39 B	3,85 A	0,24 B	0,82 B	0,67 A	0,18 B	0,54 BC	0,85C	5,23 A	1,00 C
+Mn	0,67 C	0,79 B	0,23 B	0,33 B	2,41 B	1,34 B	3,88 A	0,22 B	1,06 B	0,69 A	0,13 B	0,50 C	1,01BC	6,03 A	1,02 C
+Zn	0,68 C	1,10 B	0,20 B	0,33 B	1,99 B	1,18 B	3,89 A	0,17 B	0,81 B	0,62 A	0,18 B	0,38 C	0,91C	6,40 A	0,98 C
+M	1,54 AB	2,17 A	1,23 A	1,54 A	3,96 A	2,58 A	4,76 A	1,00 A	1,38 AB	0,95 A	0,82 A	1,09 AB	1,71AB	6,56 A	1,93 B
Média	1,03 ef	1,28 e	0,55 hi	0,63 gh	2,67 c	1,71 d	4,09 b	0,41 i	1,07 e	0,79 fg	0,35 i	0,67 gh	1,17 e	6,39 a	1,29
----- Conteúdo de Cu, em µg/vaso -----															
-M	7,93 BC	6,93 B	1,52 B	2,06 B	24,91 BC	11,33 C	43,09 A	1,10 B	7,44 B	6,00 AB	1,23 B	4,18 C	13,20 AB	69,14 A	7,54 C
+B	8,13 BC	8,12 B	1,63 B	1,86 B	20,70 C	14,55BC	50,67 A	0,92 B	7,28 B	7,36 AB	1,29 B	5,42 BC	13,57 AB	73,73 A	8,01 C
+Cu	19,51 A	27,49 A	17,67 A	15,01 A	49,14 A	32,86 A	59,63 A	9,02 A	18,82 A	9,90 A	8,36 A	12,03 A	24,67 A	81,56 A	21,77 A
+Fe	5,62 C	7,36 B	1,86 B	1,78 B	20,20 C	13,41BC	50,14 A	1,05 B	7,94 B	5,30 AB	1,02 B	4,94 C	11,38 B	54,75 A	7,23 C
+Mn	5,80 C	6,79 B	1,48 B	1,77 B	25,86 BC	12,92 C	45,46 A	1,14 B	9,77 B	5,65 AB	0,97 B	4,62 C	13,16 AB	67,39 A	7,51 C
+Zn	5,74 C	9,23 B	1,08 B	1,85 B	19,74 C	11,12 C	47,68 A	0,92 B	7,85 B	4,98 B	1,32 B	3,53 C	11,67 B	72,55 A	7,07 C
+M	12,94 AB	20,42 A	10,53 A	11,56 A	41,11 AB	24,67AB	55,42 A	7,43 A	13,30 AB	8,90 AB	7,08 A	10,71AB	23,15A	75,36 A	17,50 B
Média	8,52 ef	10,67 e	3,15 hi	3,52 h	27,15 c	15,97 d	50,03 b	2,12 j	9,77 e	6,68 d	2,22 i	5,93 g	15,14 d	70,19 a	9,90
----- Teor de Fe, em mg/kg -----															
-M	160 AB	110 A	152 AB	353 AB	121 A	89 A	103 A	328 B	185 AB	157 A	272 BC	164 AB	145 A	285 A	171 B
+B	168 AB	118 A	162 AB	310 AB	118 A	95 A	112 A	342 B	172 AB	150 A	281 BC	201 A	132 A	223 A	171 B
+Cu	139 B	108 A	108 B	245 B	101 A	100 A	105 A	260 B	151 B	151 A	240 BC	129 B	125 A	202 A	146 C
+Fe	233 A	142 A	191 A	451 A	136 A	135 A	124 A	528 A	254 A	184 A	449 A	189 AB	161 A	275 A	220 A
+Mn	157 AB	114 A	137 AB	321 AB	112 A	98 A	105 A	283 B	174 AB	157 A	318 AB	139 AB	136 A	234 A	164 BC
+Zn	150 B	110 A	133 AB	326 AB	112 A	118 A	97 A	359 AB	192 AB	176 A	245 BC	159 AB	138 A	263 A	169 B
+M	179 AB	129 A	141 AB	271 B	121 A	136 A	112 A	249 B	204 AB	155 A	192 C	146 AB	143 A	252 A	167 B
Média	167 cd	118 ef	144 d	320 a	117 ef	109 f	108 f	326 a	188 c	161 cd	276 ab	159 cd	140 de	246 b	171

**Quadro 36, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Conteúdo de Fe, em µg/vaso -----															
-M	1.498 A	1.027 A	915 A	2.679 A	1.234 A	902 A	1.311 A	1.817 AB	1.755 AB	1.377 A	2.198 AB	1.617 A	1.879 A	2.880 A	1.551 BC
+B	1.614 A	1.126 A	1.067 A	2.224 A	1.260 A	913 A	1.413 A	1.964 AB	1.685 AB	1.475 A	2.159 AB	1.865 A	1.796 A	2.473 A	1.582 BC
+Cu	1.440 A	1.004 A	970 A	2.172 A	1.078 A	980 A	1.313 A	2.105 AB	1.547 B	1.353 A	2.239 AB	1.273 A	1.727 A	2.333 A	1.467 C
+Fe	2.164 A	1.334 A	1.298 A	2.773 A	1.473 A	1.348 A	1.646 A	2.764 A	2.556 A	1.692 A	3.210 A	1.795 A	2.202 A	2.914 A	1.987 A
+Mn	1.572 A	1.084 A	919 A	2.239 A	1.241 A	966 A	1.277 A	1.629 B	1.671 AB	1.438 A	2.434 AB	1.440 A	1.785 A	2.637 A	1.519 BC
+Zn	1.400 A	951 A	883 A	2.193 A	1.205 A	1.151 A	1.209 A	2.167 AB	1.930 AB	1.621 A	1.886 B	1.646 A	1.858 A	3.001 A	1.560 BC
+M	1.670 A	1.236 A	1.310 A	2.365 A	1.283 A	1.385 A	1.335 A	2.028 AB	2.068 AB	1.510 A	1.924 B	1.475 A	1.951 A	2.913 A	1.690 B
Média	1.607 ef	1.102 h	1.039 h	2.368 ab	1.249 gh	1.077 h	1.352 fg	2.043 bcd	1.863 de	1.491 fg	2.260 abc	1.575 ef	1.880 cde	2.725 a	1.615
----- Teor de Mn, em mg/kg -----															
-M	34 B	34 B	88 BC	74 B	92 B	189 BC	1603 A	48 B	88 C	79 C	46 B	85 BC	313 A	1.484 A	120 B
+B	30 B	34 B	82 C	79 AB	83 B	229 ABC	1718 A	45 B	107 BC	78 C	46 B	85 BC	306 A	1.304 A	121 B
+Cu	27 B	38 B	83 BC	67 B	74 B	233 ABC	1736 A	34 B	97 BC	82 BC	39 B	92 BC	246 A	1.206 A	112 B
+Fe	23 B	37 B	83 BC	69 B	79 B	203 ABC	1500 A	45 B	97 BC	96 ABC	43 B	75 C	247 A	1.138 A	112 B
+Mn	67 A	100 A	127 AB	117 A	142 A	279 AB	1801 A	88 A	170 A	130 A	88 A	151 A	249 A	1.296 A	186 A
+Zn	28 B	39 B	77 C	64 B	71 B	180 C	1640 A	49 B	114 ABC	84 BC	46 B	85 BC	250 A	1.304 A	115 B
+M	75 A	100 A	143 A	115 A	167 A	303 A	1796 A	97 A	146 AB	124 AB	86 A	129 AB	269 A	1.276 A	189 A
Média	37 g	48 f	95 de	81 e	96 de	227 c	1682 a	54 f	114 d	94 e	53 f	97 de	267 c	1.283 b	133
----- Conteúdo de Mn, em µg/vaso -----															
-M	314 B	314 B	529 C	559 BC	941 B	1.926 B	20.485 A	266 B	834 C	688 B	370 B	834 BC	4.053 A	15.004 A	1.085 B
+B	286 B	323 B	542 BC	569 BC	892 B	2.211 AB	21.667 A	259 B	1.050 ABC	769 AB	352 B	786 C	4.164 A	14.450 A	1.110 B
+Cu	277 B	352 B	746 BC	592 BC	790 B	2.270 AB	21.725 A	271 B	988 BC	735 B	364 B	905 BC	3.388 A	13.944 A	1.125 B
+Fe	216 B	344 B	564 BC	423 C	857 B	2.024 AB	19.958 A	234 B	974 BC	882 AB	307 B	713 C	3.379 A	12.055 A	1.007 B
+Mn	674 A	950 A	852 AB	813 AB	1.575 A	2.760 AB	21.874 A	504 A	1.629 A	1.187 A	672 A	1.558 A	3.264 A	14.606 A	1.725 A
+Zn	261 B	337 B	513 C	431 C	764 B	1.763 B	20.473 A	293 B	1.148 ABC	773 AB	352 B	883 BC	3.351 A	14.909 A	1.058 B
+M	700 A	956 A	1.323 A	1.002 A	1.778 A	3.079 A	21.497 A	786 A	1.484 AB	1.206 A	860 A	1.308AB	3.654 A	14.767 A	1.915 A
Média	351 i	451 h	684 g	600 g	1.029 ef	2.251 d	21.085 a	338 i	1.129 e	871 f	435 h	962 ef	3.593 c	14.213 b	1.250

### Quadro 36, Cont.

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Teor de Zn, em mg/kg -----															
-M	74 B	29 B	27 C	24 CD	40 B	19 B	19 BC	27 BC	15 C	15 B	17 C	13 B	17 B	17 B	23 C
+B	85 AB	33 B	26 C	26 CD	33 B	21 B	17 C	28 BC	14 C	16 B	14 CD	11 B	15 B	18 B	22 CD
+Cu	59 B	30 B	15 D	18 D	36 B	20 B	17 BC	18 D	13 C	15 B	10 D	11 B	16 B	17 B	19 E
+Fe	62 B	29 B	21 CD	29 C	33 B	19 B	15 C	26 BCD	14 C	14 B	14 CD	12 B	13 B	14 B	20 DE
+Mn	66 B	35 B	27 C	28 C	28 B	18 B	17 BC	25 CD	16 C	14 B	14 CD	14 B	14 B	19 B	22 CD
+Zn	115 A	79 A	69 A	75 A	69 A	48 A	28 A	72 A	43 A	34 A	43 A	42 A	36 A	45 A	53 A
+M	77 B	62 A	42 B	49 B	61 A	44 A	25 AB	39 B	28 B	27 A	28 B	35 A	27 A	42 A	39 B
Média	75 a	40 b	29 cd	32 c	41 b	25 de	19 fg	31 c	18 g	18 g	18 g	17 g	19 g	22 ef	26
----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----															
-M	694 B	274 B	164 B	183 B	404 B	195 B	239 AB	148 B	142 B	132 B	138 B	131 B	221 A	175 B	204 C
+B	820 AB	313 B	173 B	189 B	355 B	201 B	210 B	158 B	140 B	161 B	109 B	103 B	208 A	197 B	203 C
+Cu	615 B	281 B	134 B	164 B	383 B	194 B	213 B	145 B	128 B	133 B	95 B	108 B	225 A	192 B	187 CD
+Fe	575 B	277 B	145 B	177 B	355 B	186 B	204 B	137 B	136 B	125 B	99 B	116 B	171 A	150 B	180 D
+Mn	658 B	334 B	178 B	193 B	307 B	181 B	206 B	147 B	152 B	122 B	110 B	147 B	187 A	208 B	199 CD
+Zn	1.077 A	679 A	457 A	502 A	740 A	473 A	351 A	432 A	433 A	308 A	331 A	433 A	483 A	511 A	487 A
+M	715 AB	591 A	393 A	429 A	649 A	446 A	299 AB	315 A	286 A	260 A	274 A	356 A	364 B	480 A	398 B
Média	722 a	367 b	209 cd	237 c	433 b	246 c	241 c	191 de	182 de	166 ef	146 f	168 ef	248 c	244 c	246

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. <sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup> e <sup>(4)</sup> Valores médios de 9, 63 e 882 dados, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 37. Médias de solos para produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos cultivos para os tratamentos utilizados**

CULTIVO	TRATAMENTO							Média
	-M	+B	+Cu	+Fe	+Mn	+Zn	+M	
----- Matéria Seca, em g/vaso -----								
1 <sup>(1)</sup>	9,52 Bbc <sup>(2)</sup>	10,19 Bab	10,30 Bab	9,35Bc	10,58 Aa	10,55Aa	9,79Babc	10,03 B
2	7,18 Ccd	7,23 Cbcd	7,85 Cab	7,72Cabc	7,25 Bbcd	7,10Bd	8,33Ca	7,51 C
3	11,08 Ab	10,89 Ab	12,71 Aa	10,46Ab	10,58Ab	10,64Ab	12,89Aa	11,28 A
Média <sup>(3)</sup>	9,13 b	9,31 b	10,11 a	9,11 b	9,34 b	9,28 b	10,18 a	9,49 <sup>(4)</sup>
----- Teor de B, em mg/kg -----								
1	25 Ab	33 Aa	25 Bb	27 Ab	24 Ab	25 Ab	33 Aa	27 B
2	28 Aa	33 Aa	30 Aa	28 Aa	28 Aa	29 Aa	30 Aa	29 A
3	14 Bab	15 Ba	11 Cb	13 Bab	13 Bab	14 Ba	15 Ba	14 C
Média	21 b	26 a	20 b	22 b	21 b	22 b	25 a	22
----- Conteúdo de B, em µg/vaso -----								
1	238 Ab	338 Aa	260 Ab	247 Ab	253 Ab	258 Ab	324 Aa	272 A
2	199 Bb	238 Bab	233 Aab	218 Aab	200 Bb	202 Bb	249 Ba	219 B
3	149 Cb	163 Cab	140 Bb	139 Bb	138 Cb	148 Cb	190 Ca	152 C
Média	192 b	236 a	204 b	195 b	191 b	198 b	249 a	208
----- Teor de Cu, em mg/kg -----								
1	1,47 Ab	1,50 Ab	3,19 Aa	1,39 Ab	1,28 Ab	1,28 Ab	2,69 Aa	1,75 A
2	0,92 Bb	0,94 Bb	2,07 Ba	0,90 Bb	0,97 Bb	0,91 Bb	1,80 Ba	1,17 B
3	0,82 Bc	0,87 Bc	1,89 Ba	0,75 Bc	0,84 Bc	0,78 Bc	1,43 Cb	1,02 C
Média	1,05 c	1,08 c	2,34 a	1,00 c	1,02 c	0,98 c	1,93 b	1,29
----- conteúdo de Cu, em µg/vaso -----								
1	12,02 Ab	13,18 Ab	31,72 Aa	11,40 Ab	11,26 Ab	11,14 Ab	25,16 Aa	15,19 A
2	5,17 Cb	5,34 Cb	14,70 Ca	5,39 Bb	5,52 Bb	5,05 Bb	13,14 Ba	7,05 C
3	6,74 Bc	7,13 Bc	21,98 Ba	6,04 Bc	6,70 Bc	6,17 Bc	16,12 Bb	8,94 B
Média	7,54 c	8,01 c	21,77 a	7,23 c	7,51 c	7,07 c	17,50 b	9,90
----- Teor de Fe, em mg/kg -----								
1	200 Abc	206 Abc	170 Ac	284 Aa	176 Abc	194 Abc	210 Ab	203 A
2	203 Ab	207 Ab	179 A	269 Aa	206 Ab	201 Ab	217 Ab	210 A
3	123 Babc	117 Babc	102 Bc	138 Ba	121 Babc	124 Bab	102 Bbc	118 B
Média	171 b	171 b	146 c	220 a	164 bc	169 b	167 b	171
----- Conteúdo de Fe, em µg/vaso -----								
1	1.892 Ab	2.092 Ab	1.745 Ab	2.635 Aa	1.855 Ab	2.033 Ab	2.040 Ab	2.026 A
2	1.454 Bc	1.489 Bbc	1.405 Bc	2.073 Ba	1.488 Bbc	1.424 Bc	1.805 Aab	1.576 B
3	1.356 Ba	1.270 Ba	1.288 Ba	1.437 Ca	1.269 Ba	1.312 Ba	1.311 Ba	1.319 C
Média	1.551 bc	1.582 bc	1.467 c	1.987 a	1.519 bc	1.560 bc	1.690 b	1.615
----- Teor de Mn, em mg/kg -----								
1	152 Ab	152 Ab	140 Ab	144 Ab	232 Aa	147 Ab	237 Aa	168 A
2	110 Bb	107 Bb	100 Bb	95 Bb	168 Ba	101 Bb	170 Ba	118 B
3	104 Bb	107 Bb	101 Bb	102 Bb	165 Ba	103 Bb	168 Ba	118 B
Média	120 b	121 b	112 b	112 b	186 a	115 b	189 a	133

**Quadro 37, Cont.**

CULTIVO	TRATAMENTO							Média
	-M	+B	+Cu	+Fe	+Mn	+Zn	+M	
----- Conteúdo de Mn, em µg/vaso -----								
1	1.440 Ab	1.541 Ab	1.430 Ab	1.334 Ab	2.443 Aa	1.542 Ab	2.307 Aa	1.674 A
2	782 Cb	768 Cb	780 Bb	728 Cb	1.210 Ca	712 Cb	1.410 Ba	882 C
3	1.133 Bc	1.154 Bc	1.275 Ac	1.052 Bc	1.735 Bb	1.078 Bc	2.160 Aa	1.323 B
Média	1.085 b	1.110 b	1.125 b	1.007 b	1.725 a	1.058 b	1.915 a	1.250
----- Teor de Zn, em mg/kg -----								
1	30 Acd	30 Ac	27 Acd	25 Ad	29 Acd	80 Aa	61 Aa	37 A
2	23 Bc	23 Bc	18 Bd	21 Bcd	23 Bc	49 Ba	38 Bb	26 B
3	17 Cc	16 Ccd	13 Cd	16 Ccd	15 Ccd	37 Ca	26 Cb	19 C
Média	23 c	22 cd	19 e	20 de	22 cd	53 a	39 b	26
----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----								
1	283 Ac	303 Ac	275 Acd	231 Ad	299 Ac	844 Aa	598 Ab	362 A
2	163 Bb	163 Bb	143 Bb	158 Bb	164 Bb	347 Ba	315 Ba	195 C
3	183 Bb	170 Bb	167 Bb	160 B	160 B	394 Ba	333 Ba	209 B
Média	204 c	203 c	187 cd	180 d	199 cd	487 a	398 b	246

<sup>(1)</sup> Cultivo 1, 2 e 3 – analisado após cada cultivo sucessivo com milho. <sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup> e <sup>(4)</sup> médias de 42, 126 e 882 dados, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. -M sem e +M com todos os micronutrientes juntos.

Quadro 38. Médias de tratamentos para a produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos cultivos para os solos<sup>(1)</sup> utilizados

<b>CULTIVO</b>	<b>LVA-AC</b>	<b>C-CU</b>	<b>LVA-EG</b>	<b>CI-FO</b>	<b>C-VII</b>	<b>LVA-VII</b>	<b>RU-SF</b>	<b>LVA-BA</b>	<b>LV-BO</b>	<b>LV-BII</b>	<b>LV-CO</b>	<b>LVA-BV</b>	<b>LV-SL</b>	<b>LVdf-SSP</b>	<b>Média</b>
<b>Matéria Seca, em g/vaso</b>															
1 <sup>(2)</sup>	10,07B <sup>(3)</sup>	11,17 A	7,01 B	6,92 B	13,88 A	11,47 A	16,37 A	6,09 A	10,15 B	6,92 C	9,14 A	11,10 A	14,82 A	10,79 B	10,03 B
2	7,56 C	6,86 B	6,20 C	6,71 B	6,91 B	6,89 B	8,18 C	6,54 A	7,79 C	9,07 B	6,84 B	7,34 B	10,27 B	8,93 C	7,51 C
3	11,69 A	10,61 A	8,66 A	8,80 A	12,85 A	12,40 A	14,73 B	6,29 A	12,34 A	12,72 A	8,81 A	11,95 A	16,05 A	14,15 A	11,28 A
Média <sup>(4)</sup>	9,64 c	9,36 c	7,23 e	7,43 e	10,77 b	9,96 c	12,59 a	6,30 f	9,94 c	9,30 c	8,21 d	9,93 c	13,49 a	11,11 b	9,49 <sup>(5)</sup>
<b>Teor de B, em mg/kg</b>															
1	26 A	23B	29 A	34 A	17 B	24 A	14 B	38 A	33 A	36 A	34 A	28 A	29 A	30 A	27 B
2	29 A	31 A	28 A	31 A	23 A	29 A	24 A	36 A	35 A	30 A	29 A	29 A	30 A	28 A	29 A
3	15 B	14 C	14 B	15 B	11 C	14 B	13 B	18 B	14 B	12 B	14 B	13 B	12 B	11 B	14 C
Média	23 bc	21 bc	23 bc	25 ab	17 d	21 c	16 d	29 a	25 ab	24 bc	24 bc	22 bc	22 bc	21 bc	22
<b>Conteúdo de B, em µg/vaso</b>															
1	262 A	251 A	203 A	233 A	238 A	270 A	233 A	233 A	331 A	248 A	311 A	311 A	430 A	321 A	272 A
2	222 A	211 A	174 A	206 A	160 B	198 B	199 AB	235 A	271 A	267 A	200 B	210 B	306 B	253 B	219 B
3	174 B	148 B	122 B	135 B	144 B	168 B	184 B	111 B	177 B	153 B	118 C	157 C	198 C	162 C	152 C
Média	216 bcd	199 cde	163 f	186 def	176 ef	208 cde	204 cde	183 def	251 ab	216 bcd	194 def	217 bcd	297 a	236 bc	208
<b>Teor de Cu, em mg/kg</b>															
1	1,62 A	1,79 A	0,75 A	1,13 A	3,39 A	1,95 A	2,99 C	0,68 A	1,78 A	1,41 A	0,68 A	1,09 A	1,54 A	8,97 A	1,75 A
2	0,85 B	1,30 B	0,40 B	0,57 B	2,98 A	1,78 AB	5,26 A	0,24 B	0,93 B	0,59 B	0,19 B	0,50 B	1,02 B	4,85 B	1,17 B
3	0,72 B	0,86 C	0,51 AB	0,30 C	1,83 B	1,41 B	4,27 B	0,35 B	0,65 B	0,51 B	0,22 B	0,47 B	0,99 B	5,93 B	1,02 C
Média	1,03 ef	1,28 e	0,55 hi	0,63 gh	2,67 c	1,71 d	4,09 b	0,41 i	1,07 e	0,79 fg	0,35 i	0,67 gh	1,17 e	6,39 a	1,29
<b>Conteúdo de Cu, em µg/vaso</b>															
1	15,70 A	18,79 A	4,21 A	6,48 A	45,16 A	21,50 A	47,33 <sup>A</sup> B	3,22 A	17,53 A	9,65 A	4,54 A	11,62 A	22,23 A	96,51 A	15,19 A
2	5,75 B	8,47 B	2,08 B	3,12 B	20,01 B	11,25 B	42,54 B	1,33 B	6,96 B	5,00 B	1,18 B	3,45 B	10,17 C	42,85 B	7,05 C
3	6,65 B	7,47 B	3,44 A	1,99 C	22,01 B	16,73 A	62,16 A	2,09 AB	7,48 B	6,10 B	1,77 B	4,92 B	15,20 B	83,37 A	8,94 B
Média	8,52 ef	10,67 e	3,15 hi	3,52 h	27,15 c	15,97 d	50,03 b	2,12 j	9,77 e	6,68 d	2,22 ij	5,93 g	15,14 d	70,19 a	9,90

**Quadro 38, Cont.**

CULTIVO	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- <b>Teor de Fe, em mg/kg</b> -----															
1	161 B	142 A	139 B	513 A	181 A	115 B	100 B	388 A	226 A	183 A	390 A	163 B	179 A	329 A	203 A
2	270 A	148 A	203 A	358 B	145 A	162 A	145 A	338 A	245 A	174 A	234 B	218 A	161 A	285 A	210 A
3	108 C	78 B	107 C	178 C	61 B	69 C	87 B	264 B	120 B	130 B	231 B	113 C	95 B	159 B	118 B
Média	167 cd	118 ef	144 d	320 a	117 ef	109 f	108 f	326 a	188 c	161 cd	276 ab	159 cd	140 de	246 b	171
----- <b>Conteúdo de Fe, em µg/vaso</b> -----															
1	1.616 B	1.586 A	969 B	3.542 A	2.506 A	1.322 A	1.631 A	2.358 A	2.288 A	1.265 B	3.563 A	1.812 A	2.646 A	3.536 A	2.026 A
2	2.040 A	1.015 B	1.252 A	2.398 B	999 B	1.111 A	1.188 B	2.200 A	1.907 A	1.581 AB	1.600 C	1.596 AB	1.648 B	2.545 B	1.576 B
3	1.259 C	831 B	925 B	1.562 C	778 C	850 B	1.276 B	1.644 B	1.483 B	1.656 A	2.024 B	1.352 B	1.524 B	2.250 B	1.319 C
Média	1.607 ef	1.102 h	1.039 h	2.368 ab	1.249 gh	1.077 h	1.352 fg	2.043bcd	1.863 de	1.491 fg	2.260 abc	1.575 ef	1.880 cde	2.725 a	1.615
----- <b>Teor de Mn, em mg/kg</b> -----															
1	58 A	79 A	134 A	141 A	135 A	223 A	1.520 A	90 A	157 A	133 A	104 A	135 A	130 C	1.029 B	168 A
2	31 B	36 B	78 B	59 B	78 B	244 A	1.666 A	41 B	96 B	62 C	39 B	88 B	431 A	1.645 A	118 B
3	27 B	40 B	82 B	64 B	84 B	215 A	1.878 A	43 B	99 B	101 B	37 B	77 B	339 B	1.248 B	118 B
Média	37 g	48 f	95 de	81 e	96 de	227 c	1.682 a	54 f	114 d	94 e	53 f	97 de	267 c	1.283 b	133
----- <b>Conteúdo de Mn, em µg/vaso</b> -----															
1	587 A	877 A	937 A	972 A	1.868 A	2.554 A	24.871 A	546 A	1.589 A	918 B	950 A	1.500 A	1.929 B	11.074 B	1.674 A
2	236 C	246 C	485 C	395 C	538 B	1.675 B	13.623 B	268 B	746C	561 C	265 B	645 C	4.420 A	14.680 A	882 C
3	313 B	424 B	704 B	562 B	1.083 C	2.667 A	27.666 A	265 B	1.214 B	1.282 A	327 B	918 B	5.437 A	17.663 A	1.323 B
Média	351 i	451 h	684 g	600 g	1.029 ef	2.251 d	21.085 a	338 i	1.129 e	871 f	435 h	962 ef	3.593 c	14.213 b	1.250

**Quadro 38, Cont.**

<b>CULTIVO</b>	<b>LVA-AC</b>	<b>C-CU</b>	<b>LVA-EG</b>	<b>CI-FO</b>	<b>C-VII</b>	<b>LVA-VII</b>	<b>RU-SF</b>	<b>LVA-BA</b>	<b>LV-BO</b>	<b>LV-BII</b>	<b>LV-CO</b>	<b>LVA-BV</b>	<b>LV-SL</b>	<b>LVdf-SSP</b>	<b>Média</b>
----- Teor de Zn, em mg/kg -----															
1	130 A	58 A	32 A	50 A	75 A	35 A	15 C	41 A	27 A	27 A	29 A	24 A	25 A	29 A	37 A
2	64 B	37 B	28 A	30 B	33 B	25 B	26 A	26 B	20 B	20 B	15 B	17 B	23 A	25 A	26 B
3	51 C	29 C	28 A	22 C	27 C	17 C	18 B	27 B	12 C	11 C	13 B	12 C	11 B	15 B	19 C
Média	75 a	40 b	29 cd	32 c	41 b	25 de	19 fg	31 c	18 g	18 g	18 g	17 g	19 g	22 ef	26
----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----															
1	1.309 A	649 A	224 A	343 A	1.045 A	396 A	243 AB	245 A	270 A	187 A	267 A	264 A	369 A	314 A	362 A
2	485 B	253 B	170 B	198 B	229 C	174 B	213 B	167 B	155 B	182 A	104 B	125 B	239 B	227 B	195 C
3	592 B	301 B	240 A	195 B	340 B	215 B	270 A	171 B	142 B	134 B	112 B	145 B	173 C	203 B	209 B
Média	722 a	367 b	209 cd	237 c	433 b	246 c	241 c	191 de	182 de	166 ef	146 f	168 ef	248 c	244 c	246

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. <sup>(2)</sup> 1, 2 e 3 são os três cultivos sucessivos. <sup>(3)</sup>, <sup>(4)</sup> e <sup>(5)</sup> médias de 21, 63 e 882 dados, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 39. Produção de matéria seca acumulada da parte aérea e dos conteúdos acumulados de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos tratamentos (TRAT) e solos<sup>(1)</sup> utilizados no total dos três cultivos**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Matéria Seca, em g/vaso -----															
-M	29,09 A <sup>(2)</sup>	29,20 A	18,24 B	22,96 BC	32,66 A	32,30 A	40,60 A	16,87 B	29,26 A	27,66 A	24,66 BC	30,11 A	39,41 A	32,02 A	28,17 B
+B	29,20 A	29,99 A	20,09 B	21,91 CD	33,26 A	29,87 A	40,44 A	17,36 B	30,46 A	30,02 A	23,32 C	28,38 A	41,73 A	33,92 A	28,50 B
+Cu	31,53 A	28,50 A	27,67 A	27,92 A	33,80 A	31,91 A	39,04 A	24,74 A	31,26 A	28,55 A	28,87 AB	30,75 A	42,19 A	35,64 A	31,30 A
+Fe	28,16 A	28,88 A	20,45 B	18,59 D	33,98 A	30,53 A	41,22 A	16,11 B	30,73 A	29,12 A	21,72 C	29,61 A	41,93 A	32,56 A	27,87 B
+Mn	30,93 A	29,84 A	20,74 B	21,20 CD	35,38 A	30,48 A	37,84 A	17,57 B	29,48 A	28,34 A	23,68 C	31,63 A	40,86 A	34,29 A	28,71 B
+Zn	28,67 A	26,17 A	20,27 B	20,38 CD	34,59 A	30,34 A	39,18 A	18,32 B	30,95 A	28,23 A	23,82 C	32,04 A	41,67 A	35,96 A	28,53 B
+M	29,07 A	29,84 A	28,60 A	27,05 AB	33,90 A	31,30 A	37,60 A	25,44 A	30,96 A	30,52 A	30,54 A	31,25 A	41,60 A	35,17 A	31,39 A
Média <sup>(3)</sup>	29,50 cd	28,89 d	22,01 f	22,65 f	33,93 b	30,95 c	39,40 a	19,20 g	30,43 cd	28,91 d	25,07 e	30,51 cd	41,33 a	34,19 b	29,18 <sup>(4)</sup>
----- Conteúdo de B, em µg/vaso -----															
-M	605 A	595 AB	453 B	594 ABC	545 A	526 A	646 A	589 A	698 A	655 AB	591 AB	644 A	743 B	634 A	604 B
+B	801 A	807 A	510 AB	710 AB	642 A	743 A	785 A	668 A	948 A	937 A	730 AB	695 A	1.074 AB	824 A	765 A
+Cu	720 A	583 AB	505 AB	626 ABC	587 A	648 A	595 A	623 A	721 A	659 AB	715 AB	665 A	886 AB	717 A	655 B
+Fe	593 A	641 AB	485 AB	444 C	585 A	762 A	603 A	497 A	740 A	560 B	593 AB	722 A	979 AB	676 A	621 B
+Mn	587 A	578 AB	468 AB	486 BC	527 A	689 A	612 A	522 A	734 A	650 AB	535 B	731 A	979 AB	687 A	616 B
+Zn	695 A	509 B	499 AB	564 ABC	494 A	590 A	608 A	578 A	811 A	737 AB	580 AB	628 A	962 AB	889 A	639 B
+M	792 A	790 A	695 A	844 A	698 A	703 A	651 A	702 A	962 A	688 AB	882 A	812 A	1.159 A	907 A	796 A
Média	679 bcde	635 cde	512 f	597 def	579 ef	661 cde	640 cde	593 def	796 b	690 bcde	652 cde	697 bcd	961 a	755 bc	667
----- Conteúdo de Cu, em µg/vaso -----															
-M	31,35ABC	26,61 B	5,04 B	7,70 B	86,19 ABC	42,61 BC	144,74 A	3,33 B	26,53 B	18,63 A	4,03 B	15,58 C	43,23 AB	232,49 AB	24,62 C
+B	28,30BC	30,26 B	5,14 B	7,10 B	74,70 BC	50,53 BC	157,30 A	2,86 B	24,58 B	23,99 A	5,35 B	19,02 BC	42,95 AB	242,26 AB	25,72 C
+Cu	61,28 <sup>a</sup>	92,00 A	60,06 A	54,92 A	159,10 A	110,49 A	197,85 A	34,47 A	64,37 A	32,18 A	29,98 A	42,86 A	79,23 A	259,45 A	73,20 A
+Fe	23,22BC	26,43 B	6,24 B	6,49 B	71,33 C	44,16 BC	159,74 A	3,35 B	27,20 B	16,63 A	3,68 B	16,47 C	39,00 B	177,88 B	23,23 C
+Mn	21,42C	22,78 B	4,90 B	6,38 B	90,24 ABC	42,97 BC	150,93 A	3,76 B	33,68 AB	19,05 A	3,14 B	15,51 C	41,89 AB	218,19 AB	23,62 C
+Zn	20,21C	30,76 B	3,60 B	7,30 B	78,15 BC	36,70 C	152,28 A	2,88 B	25,49 B	17,35 A	4,23 B	12,87 C	39,69 B	253,93 A	22,61 C
+M	44,32AB	64,77 A	36,17 A	43,48 A	142,25 AB	83,30 AB	181,33 A	23,63 A	45,74 AB	27,80 A	27,98 A	35,76 AB	71,80 AB	233,74 AB	58,24 B
Média	30,50 f	36,75 ef	9,74 hi	12,47 h	95,70 c	54,30 d	162,56 b	6,37 j	33,29 f	21,63 g	7,38 ij	20,53 g	49,10 de	229,63 a	31,97

**Quadro 39, Cont.**

TRAT	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	Média
----- Conteúdo de Fe, em µg/vaso -----															
-M	4.695 B	3.414 A	2.828 A	8.589 A	4.251 A	2.820 B	4.014 A	5.673 B	5.424 B	4.357 A	7.465 AB	5.163 A	5.769 A	9.936 A	4.966 BC
+B	5.024 AB	3.529 A	3.263 A	8.215 A	4.405 A	2.886 AB	4.355 A	6.867 AB	5.284 B	4.506 A	6.952 B	5.746 A	5.763 A	8.398 A	5.112 BC
+Cu	4.485 B	3.188 A	2.972 A	6.843 A	3.853 A	3.167 AB	4.073 A	6.718 AB	4.908 B	4.317 A	7.081 AB	3.911 A	5.440 A	7.219 A	4.654 C
+Fe	7.255 A	4.296 A	4.030 A	9.253 A	5.067 A	4.207 AB	5.108 A	9.194 A	8.545 A	5.221 A	10.773 A	5.906 A	7.270 A	10.001 A	6.500 A
+Mn	4.884 AB	3.397 A	2.908 A	7.505 A	4.248 A	2.996 AB	3.922 A	5.139 B	5.146 B	4.459 A	8.751 AB	4.508 A	5.795 A	8.386 A	4.859 C
+Zn	4.264 B	3.019 A	2.803 A	7.753 A	4.221 A	3.562 AB	3.762 A	7.305 AB	6.066 AB	5.013 A	6.083 B	5.172 A	6.066 A	9.969 A	5.033 BC
+M	5.328 AB	3.969 A	4.078 A	7.600 A	4.428 A	4.307 A	4.191 A	6.727 AB	6.999 AB	4.736 A	6.281 B	4.753 A	6.070 A	9.475 A	5.444 B
Média	5.062 def	3.522 hi	3.231 i	7.932 ab	4.341 fg	3.375 i	4.185 gh	6.703 bc	5.946 cde	4.648 fg	7.491 b	4.980 efg	6.002 cd	8.997 a	5.196
----- Conteúdo de Mn, em µg/vaso -----															
-M	1.007 B	1.243 B	1.645 C	1.878BC	3.278 B	6.054 AB	4.3456 A	890 B	2.607 C	2.183 B	1.397 B	2.788 BC	14.981 A	46.936 A	3.528 B
+B	918 B	1.138 B	1.767 BC	1.881BC	2.924 B	6.984 AB	4.5039 A	827 B	3.514 ABC	2.539 AB	1.390 B	2.678 BC	14.608 A	44.051 A	3.579 B
+Cu	892 B	1.236 B	2.348 BC	1.925ABC	2.726 B	7.000 AB	4.5563 A	887 B	3.285 BC	2.331 AB	1.285 B	3.037 BC	12.190 A	43.231 A	3.597 B
+Fe	731 B	1.158 B	1.750 BC	1.350C	2.819 B	6.155 AB	4.0325 A	782 B	3.343 BC	3.031 AB	1.172 B	2.446 C	11.308 A	37.476 A	3.231 B
+Mn	2.495 A	3.366 A	2.780 AB	2.642AB	5.927 A	8.484 AB	4.5293 A	1.775 A	5.536 A	3.756 A	2.618 A	5.316 A	11.366 A	44.605 A	5.683 A
+Zn	867 B	1.216 B	1.673 C	1.612BC	2.842 B	5.664 B	4.4611 A	1.028 B	3.727 ABC	2.444 AB	1.325 B	2.945 BC	12.115 A	45.478 A	3.499 B
+M	2.326 A	3.223 A	4.283 A	3.121A	6.035 A	9.655 A	4.4906 A	2.513 A	4.759 AB	3.818 A	2.978 A	4.129 AB	14.233 A	46.295 A	6.093 A
Média	1.172 i	1.599 h	2.185 f	1.987 fg	3.577 d	7.026 c	4.4137 a	1.129 i	3.721 d	2.807 e	1.627 gh	3.220 de	12.890 b	43.907 a	4.047
----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----															
-M	2.140 B	954 B	510 B	592 B	1.443 B	663 B	728 AB	470 B	441 B	410 B	448 B	431 B	729 B	545 B	657 C
+B	2.680 AB	1.049 B	542 B	600 B	1.336 B	653 B	635 B	493 B	436 B	503 B	388 B	335 B	673 B	640 B	661 C
+Cu	2.001 B	1.001 B	411 B	519 B	1.430 B	632 B	661 B	448 B	416 B	412 B	307 B	392 B	745 B	604 B	613 CD
+Fe	1.875 B	895 B	445 B	536 B	1.300 B	594 B	675 B	434 B	445 B	392 B	316 B	373 B	535 B	488 B	580 D
+Mn	2.459 B	1.108 B	543 B	623 B	1.171 B	584 B	661 B	459 B	507 B	408 B	374 B	485 B	592 B	658 B	657 C
+Zn	3.840 A	2.379 A	1.447 A	1.696 A	3.027 A	1.618 A	1.115 A	1.399 A	1.380 A	960 A	1.230 A	1.406 A	1.674 A	1.701 A	1.651 A
+M	2.514 AB	1.909 A	1.194 A	1.330 A	2.588 A	1.447 A	938 AB	976 A	956 A	798 A	996 A	1.116 A	1.199 A	1.475	1.300 B
Média	2.437 a	1.240 c	647 ef	754 de	1.647 b	807 d	757 de	601 fg	586 fg	521 g	499 g	554 fg	812 d	776 de	805

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. <sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup> e <sup>(4)</sup> valores médios de 3, 21 e 294 dados, respectivamente Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

que haja algum mecanismo de alta eficiência operando por simporte ou antiporte ( $H^+$ /metal) com gasto de energia metabólica.

Os demais micronutrientes aplicados tiveram resposta positiva da planta, em termos de aumento dos seus teores na parte aérea; entretanto, não afetaram a produção de matéria seca (Quadros 36 a 39). A falta de correção da acidez do solo diminuiu a capacidade de absorção dos nutrientes pelas plantas, com a conseqüente diminuição do seu crescimento potencial. O RU-SF e o LV-SL produziram, respectivamente, 39,40 e 41,33 g/vaso de matéria seca no acumulado dos três cultivos (Quadro 39), porém os solos LVA-EG, CI-FO e LVA-BA produziram 22,01, 22,65 e 19,20 g/vaso, respectivamente, o equivalente a cerca de 50 % da produção dos solos com melhor fertilidade. Martens & Westemann (1991) classificaram o milho como de alta sensibilidade à deficiência de Zn, média à de Cu, Fe e de Mn e baixa à de B e Mo. Segundo Barbosa Filho et al. (2001), a deficiência de micronutriente mais comum no milho cultivado no Brasil é a de Zn que ocorre de forma esporádica, principalmente em áreas de Latossolos e Argissolos altamente intemperizados e ácidos da região dos Cerrados ou de solos originados de rochas sedimentares com baixos teores de Zn, como arenitos e siltitos. Dez dos 14 solos utilizados apresentavam teores de Zn considerados baixos ( $<0,5 \text{ mg/dm}^3$ ) pelo extrator DTPA (Raij et al., 1996) antes do primeiro cultivo, entretanto, não houve manifestação visível de deficiência nem resposta significativa à adição desse micronutriente; no entanto, todos os solos tiveram teores acima de  $1,6 \text{ mg/dm}^3$ , considerados altos pelo extrator Mehlich-1 (Lopes & Abreu, 2000).

Segundo Barbosa Filho et al. (2001) os níveis críticos e faixas adequadas de teores foliares para o milho são, respectivamente: B – 10 e 6-25; Cu – 5 e 6-20; Fe – 24 e 30-250; Mn – 10 e 20-250; e Zn – 15 e 15-100 mg/kg. Considerando-se esses valores como referência, apenas o Cu se mostra potencialmente deficiente em todos os solos, exceto no LVdf; o Fe potencialmente tóxico nos solos CI-FO, LVA-BA, LV-CO e, no limite, no LVdf; o Mn, potencialmente tóxico nos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP e o Zn, potencialmente deficiente apenas nos solos LV-BO, LV-BII, LV-CO, LVA-BO, LV-SL e LVdf-SSP, nos quais os teores de

Zn no tecido foliar estão no limite da deficiência e pode caracterizar, na planta, o sintoma de “fome escondida”.

#### **4.3. Relação entre a disponibilidade dos micronutrientes estimada pela extração do disponível e a extração pela planta**

Os extratores DTPA pH 7,3 e Mehlich-1 extraíram maiores quantidades de Cu da fração oclusa em óxidos de Mn, seguida da fração residual no conjunto dos 14 solos utilizados (Quadros 40 e 41); isto pode dar a entender que a fração Cu-OxMn mantém os teores de Cu nos teores disponíveis encontrados e que a fração residual, que é um reflexo dos teores totais encontrados, de algum modo mostra a importância do material de origem do solo para seu poder de suprimento. Entretanto, os dados apresentados nos quadros 42 e 43 indicam que, tanto para o DTPA quanto para o Mehlich-1, a fração Cu-MO é a maior responsável pelos teores disponíveis encontrados; em seguida, aparecem as frações Cu-OxMn e Cu-OxFeC, cujos dados são concordantes com o estabelecido por pesquisas anteriores (Shuman, 1986, 1991; Sims, 1986; Nascimento, 2001) e mostram que o extrator Mehlich-1 pode estar extraíndo frações de menor labilidade (Cu-OxMn, Cu-OxFeA, Cu-OxFeC, Cu-Res) como é esperado, devido à sua capacidade de dissolução ácida (Menezes, 1998; Oliveira et al., 1999; Nascimento, 2001); já o DTPA teve mais de 70 % da variação de seu teor disponível explicada pela fração Cu-MO, como se previa, em razão da sua ação de complexação dos íons metálicos, competindo com os quelantes da matéria orgânica do solo, conforme Shuman (1986), Sims (1986) e Nascimento (2001). A presença dos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP mostra a dificuldade em se separar conjuntos de solos representativos com teores de micronutrientes bem distribuídos nas faixas de teores utilizadas nesta pesquisa e a necessidade de tratamento dos dados contra a presença de *outlier* e multicolinearidade.

Os extratores DTPA e Mehlich-1 extraíram o Fe disponível da quase totalidade das frações estudadas (Quadros 40, 41, 42 e 43) e foram influenciados pelo pH do meio. O DTPA foi altamente sensível à variação do pH do solo com esta variável explicando 26 a 58 % da variação dos teores disponíveis estimados

**Quadro 40. Equações de regressão dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis extraídos por DTPA pH 7,3 e Mehlich-1, em função dos teores desses micronutrientes presentes nas diferentes frações químicas e do pH antes e depois de cada cultivo sucessivo nos 14 solos utilizados**

Elemento	Equação de Regressão <sup>(2)</sup>	R <sup>2</sup>
----- Extração por DTPA em função das frações químicas -----		
Cu - 0 <sup>(1)</sup>	$\hat{Y} = -0,51 + 0,55^{***} \text{OxMn} + 0,14^{***} \text{OxFeA} + 0,02^{***} \text{Res}$	0,96
Cu - 1	$\hat{Y} = -0,44 + 0,42^{***} \text{OxMn} + 0,09^{**} \text{OxFeA} + 0,09^{**} \text{OxFeC} + 0,01^{***} \text{Res}$	0,96
Cu - 2	$\hat{Y} = -0,72 + 0,35^{***} \text{OxMn} + 0,03^{\circ} \text{OxFeA} + 0,04^{**} \text{OxFeC} + 0,01^{***} \text{Res} + 0,05^{\circ} \text{pH}$	0,98
Cu - 3	$\hat{Y} = -0,52 + 0,37^{***} \text{OxMn} + 0,04^{**} \text{OxFeA} + 0,05^{**} \text{OxFeC} + 0,01^{***} \text{Res}$	0,98
Fe - 0	$\hat{Y} = 151 + 1,09^{***} \text{Tro} + 1,91^{***} \text{MO} + 0,38^{***} \text{OxMn} - 0,006^{***} \text{OxFeA} + 0,0002^{***} \text{Res} - 33^{***} \text{pH}$	0,87
Fe - 1	$\hat{Y} = 163 + 0,93^{***} \text{Tro} + 1,65^{***} \text{MO} + 0,35^{***} \text{OxMn} - 0,007^{***} \text{OxFeA} + 0,0001^{***} \text{Res} - 32^{***} \text{pH}$	0,90
Fe - 2	$\hat{Y} = 112 + 0,81^{***} \text{Tro} + 1,13^{***} \text{MO} + 0,29^{***} \text{OxMn} - 0,005^{***} \text{OxFeA} + 0,00005^{***} \text{Res} - 22^{***} \text{pH}$	0,83
Fe - 3	$\hat{Y} = 150 + 1,09^{***} \text{Tro} + 1,48^{***} \text{MO} + 0,41^{***} \text{OxMn} - 0,008^{***} \text{OxFeA} + 0,0001^{***} \text{Res} - 30^{***} \text{pH}$	0,88
Mn - 0	$\hat{Y} = -8,93 + 0,71^{***} \text{Tro} + 0,16^{***} \text{OxMn} - 0,24^{***} \text{OxFeA} - 0,08^{\circ} \text{OxFeC} - 1,60^{***} \text{pH}$	0,99
Mn - 1	$\hat{Y} = -3,55 + 0,66^{***} \text{Tro} - 0,24^{***} \text{MO} + 0,15^{***} \text{OxMn} + 0,39^{***} \text{pH}$	0,99
Mn - 2	$\hat{Y} = -2,02 + 0,40^{***} \text{Tro} + 0,21^{***} \text{OxMn} + 0,17^{***} \text{OxFeA}$	0,99
Mn - 3	$\hat{Y} = -3,58 + 0,41^{***} \text{Tro} - 0,37^{***} \text{MO} + 0,28^{***} \text{OxMn} + 0,50^{***} \text{pH}$	0,99
Zn - 0	$\hat{Y} = -0,66 + 1,30^{***} \text{Tro} + 0,32^{***} \text{OxMn} + 0,05^{**} \text{OxFeC}$	0,93
Zn - 1	$\hat{Y} = -0,45 + 1,39^{***} \text{Tro} + 0,28^{***} \text{OxMn} + 0,05^{**} \text{OxFeC}$	0,95
Zn - 2	$\hat{Y} = -0,87 + 1,29^{***} \text{Tro} - 0,23^{\circ} \text{MO} + 0,18^{***} \text{OxMn} + 0,09^{***} \text{OxFeC} - 0,004^{***} \text{Res} + 0,13^{\circ} \text{pH}$	0,95
Zn - 3	$\hat{Y} = -0,39 + 1,11^{***} \text{Tro} + 0,40^{***} \text{OxMn} + 0,07^{**} \text{OxFeC} - 0,003^{*} \text{Res}$	0,85
----- Extração por Mehlich-1 em função das frações químicas -----		
Cu - 0	$\hat{Y} = 0,52 + 0,93^{***} \text{OxMn} + 0,03^{***} \text{Res} - 0,32^{**} \text{pH}$	0,95
Cu - 1	$\hat{Y} = 0,57 + 0,92^{***} \text{OxMn} + 0,09^{*} \text{OxFeA} + 0,02^{***} \text{Res} - 0,33^{***} \text{pH}$	0,96
Cu - 2	$\hat{Y} = -0,2 + 0,66^{***} \text{OxMn} + 0,08^{*} \text{OxFeA} + 0,02^{***} \text{Res} - 0,18^{*} \text{pH}$	0,96
Cu - 3	$\hat{Y} = 0,64 + 0,69^{***} \text{OxMn} + 0,02^{***} \text{Res} - 0,22^{**} \text{pH}$	0,95
Fe - 0	$\hat{Y} = 151 + 1,44^{*} \text{Tro} - 2,20^{***} \text{MO} + 0,03^{***} \text{OxFeA} - 0,002^{***} \text{OxFeC} - 15^{**} \text{pH}$	0,77
Fe - 1	$\hat{Y} = 169 + 1,54^{*} \text{Tro} - 2,47^{***} \text{MO} + 0,04^{***} \text{OxFeA} - 0,002^{***} \text{OxFeC} - 18^{***} \text{pH}$	0,76
Fe - 2	$\hat{Y} = 144 + 1,30^{***} \text{Tro} - 0,97^{***} \text{MO} + 0,18^{***} \text{OxMn} + 0,02^{***} \text{OxFeA} - 0,001^{***} \text{OxFeC} - 21^{***} \text{pH}$	0,87
Fe - 3	$\hat{Y} = 166 + 1,26^{***} \text{Tro} - 0,66^{*} \text{MO} + 0,23^{***} \text{OxMn} + 0,02^{***} \text{OxFeA} - 0,001^{***} \text{OxFeC} - 25^{***} \text{pH}$	0,88
Mn - 0	$\hat{Y} = -5,013 + 0,57^{***} \text{Tro} + 0,26^{*} \text{MO} + 0,17^{***} \text{OxMn} - 0,28^{**} \text{OxFeA} - 0,06^{*} \text{OxFeC} + 0,61^{\circ} \text{pH}$	0,99
Mn - 1	$\hat{Y} = -4,02 + 0,52^{***} \text{Tro} + 0,09^{***} \text{OxMn} + 0,17^{***} \text{OxFeA} - 0,32^{***} \text{pH}$	0,99
Mn - 2	$\hat{Y} = -2,51 + 0,44^{***} \text{Tro} + 0,31^{***} \text{OxMn} + 0,48^{***} \text{OxFeA} - 0,02^{***} \text{OxFeC}$	0,99
Mn - 3	$\hat{Y} = -1,88 + 0,39^{***} \text{Tro} - 0,30^{\circ} \text{MO} - 0,39^{***} \text{OxMn} + 0,30^{**} \text{OxFeA}$	0,99
Zn - 0	$\hat{Y} = -1,14 + 3,93^{***} \text{Tro} + 2,26^{***} \text{OxMn}$	0,88
Zn - 1	$\hat{Y} = -1,35 + 2,04^{***} \text{Tro} + 0,64^{***} \text{OxMn} + 0,31^{*} \text{OxFeA} + 0,06^{*} \text{OxFeC}$	0,94
Zn - 2	$\hat{Y} = -0,81 + 1,72^{***} \text{Tro} + 0,53^{***} \text{OxMn} + 0,12^{***} \text{OxFeC} - 0,003^{*} \text{Res}$	0,92
Zn - 3	$\hat{Y} = -0,65 + 1,48^{***} \text{Tro} + 0,41^{***} \text{OxMn} + 0,34^{***} \text{OxFeA} + 0,10^{**} \text{OxFeC} - 0,004^{**} \text{Res}$	0,90

<sup>(1)</sup> Cu-0, Cu-1, Cu-2 e Cu-3: teor de Cu em mg/dm<sup>3</sup> obtido pela extração de amostras de solo antes do primeiro cultivo, depois do primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente. <sup>(2)</sup> <sup>0</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup>: significativos a 10, 5, 1 e 0,1 % de probabilidade. As variáveis dependentes são: pH em água e as frações trocáveis (Tro), ligada à matéria orgânica (MO), oclusa nos óxidos de Mn (OxMn), oclusa nos óxidos amorfos (OxFeA) e cristalinos (OxFeC) de Fe e oclusa em óxidos livres de Fe residual, de Al e em caulinita (Res). Todos os elementos nas frações em estudo estão expressos em mg/kg. Utilizou-se o processo de *stepwis*.

**Quadro 41. Valores de R<sup>2</sup> total e parcial dos coeficientes significativos dos modelos de regressão múltipla, para os teores das formas disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn pelos extratores DTPA e Mehlich-1(M1) antes e após cada cultivo sucessivo nos 14 solos estudados**

Micro	Cultivo	R <sup>2</sup> total	R <sup>2</sup> parcial						
			pH água	Tro	MO	OxMn	OxFeA	OxFeC	Res
----- Disponível por DTPA pH 7,3 -----									
Cu	0	0,96	-	-	-	0,82***	0,01***	-	0,13***
	1	0,96	-	-	-	0,85***	<0,01**	0,01***	0,10***
	2	0,98	<0,01 <sup>o</sup>	-	-	0,90***	<0,01 <sup>o</sup>	<0,01**	0,08***
	3	0,98	-	-	-	0,89***	<0,01**	<0,01**	0,08***
Fe	0	0,87	0,48***	0,04***	0,12***	0,18***	0,04***	-	0,01***
	1	0,90	0,56***	0,03***	0,13***	0,09***	0,05***	-	0,02***
	2	0,83	0,47***	0,05***	0,12***	0,14***	0,05***	-	0,01**
	3	0,88	0,46***	0,05***	0,10***	0,17***	0,07***	-	0,03***
Mn	0	0,99	0,06***	<0,01***	-	0,93***	<0,01***	<0,01 <sup>o</sup>	-
	1	0,99	<0,01***	0,02***	<0,01*	0,97***	-	-	-
	2	0,99	-	<0,01***	-	0,99***	<0,01***	-	-
	3	0,99	0,01***	<0,01**	<0,01***	0,98***	-	-	-
Zn	0	0,93	-	0,77***	-	0,15***	-	0,01**	-
	1	0,95	-	0,82***	-	0,12***	-	0,01**	-
	2	0,94	<0,01 <sup>o</sup>	0,74***	<0,01 <sup>o</sup>	0,03***	-	0,14***	0,01**
	3	0,85	-	0,60***	-	0,24***	-	0,01*	0,01*
----- Disponível Mehlich-1 -----									
Cu	0	0,95	0,01**	-	-	0,89***	-	-	0,06***
	1	0,96	0,01***	-	-	0,88***	<0,01*	-	0,07***
	2	0,96	<0,01*	-	-	0,89***	-	<0,01*	0,07***
	3	0,95	0,01**	-	-	0,89***	-	-	0,05***
Fe	0	0,77	0,04***	0,02*	0,07***	-	0,28***	0,36***	-
	1	0,76	0,35***	0,02*	0,06***	-	0,16***	0,18***	-
	2	0,87	0,46***	0,02**	0,02***	0,04***	0,20***	0,13***	-
	3	0,88	0,48***	0,02***	0,01*	0,05***	0,19***	0,14***	-
Mn	0	0,99	<0,01 <sup>o</sup>	0,01***	<0,01 <sup>o</sup>	0,96***	0,03***	<0,01 <sup>o</sup>	-
	1	0,99	0,01***	<0,01**	-	0,85***	0,13***	-	-
	2	0,99	-	<0,01***	-	0,98***	0,01***	<0,01**	-
	3	0,99	-	<0,01***	<0,01 <sup>o</sup>	0,99***	<0,01***	-	-
Zn	0	0,88	-	0,58***	-	0,30***	-	-	-
	1	0,94	-	0,70***	-	0,23***	<0,01*	<0,01*	-
	2	0,92	-	0,67***	-	0,24***	-	0,01***	<0,01*
	3	0,90	-	0,61***	-	0,26***	<0,01**	0,01**	0,01**

<sup>o</sup>, \*, \*\*, \*\*\*: Significativos a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente. 0-antes do primeiro e depois do 1, 2 e 3 cultivos. Utilizou-se o processo de *stepwise*.

**Quadro 42. Equações de regressão dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn disponíveis extraídos por DTPA pH 7,3 e Mehlich-1, em função dos teores desses micronutrientes presentes nas diferentes frações químicas e do pH antes e depois de cada cultivo sucessivo, em 11 dos 14 solos<sup>(1)</sup> estudados**

Elemento	Equação de Regressão <sup>(3)</sup>	R <sup>2</sup>
----- Extração por DTPA em função das frações químicas -----		
Cu - 0 <sup>(2)</sup>	$\hat{Y} = 0,32 + 1,24^{***} MO - 0,09^{***} OxFeC - 0,005^{***} Res$	0,83
Cu - 1	$\hat{Y} = 0,24 + 0,877^{***} MO - 0,004^{*} Res$	0,75
Cu - 2	$\hat{Y} = -0,05 + 0,49^{***} MO + 0,11^{***} OxMn - 0,04^{**} OxFeC$	0,84
Cu - 3	$\hat{Y} = -0,07 + 0,65^{***} MO + 0,11^{***} OxMn - 0,02^{o} OxFeA - 0,03^{**} OxFeC$	0,88
Fe - 0	$\hat{Y} = 120 + 1,19^{***} Tro + 0,88^{***} MO + 0,35^{***} OxMn - 0,01^{***} OxFeA + 0,0004^{***} Res - 24^{***} pH$	0,90
Fe - 1	$\hat{Y} = 171 + 0,92^{***} Tro + 1,48^{***} MO + 0,44^{***} OxMn - 0,01^{***} OxFeA - 34^{***} pH$	0,87
Fe - 2	$\hat{Y} = 113 + 0,82^{***} Tro + 0,92^{***} MO + 0,38^{***} OxMn - 0,01^{***} OxFeA - 23^{***} pH$	0,82
Fe - 3	$\hat{Y} = 150 + 1,12^{***} Tro + 0,89^{***} MO + 0,52^{***} OxMn - 0,01^{***} OxFeA + 0,0001^{***} Res - 30^{***} pH$	0,91
Mn - 0	$\hat{Y} = -6,19 + 0,40^{***} Tro + 0,84^{**} MO - 0,003^{**} Res + 1,10^{***} pH$	0,92
Mn - 1	$\hat{Y} = -6,12 + 0,55^{***} Tro - 0,69^{***} MO + 0,34^{***} OxMn + 0,03^{o} OxFeC - 0,004^{**} Res + 0,92^{**} pH$	0,97
Mn - 2	$\hat{Y} = -4,66 + 0,40^{***} Tro + 0,28^{***} OxMn - 0,002^{**} Res + 0,73^{***} pH$	0,97
Mn - 3	$\hat{Y} = -6,71 + 0,40^{***} Tro + 0,10^{***} OxFeA + 1,17^{***} pH$	0,96
Zn - 0	$\hat{Y} = -4,11 + 1,37^{***} Tro + 0,30^{***} OxMn - 0,16^{*} OxFeA + 0,09^{**} OxFeC - 0,75^{***} pH$	0,97
Zn - 1	$\hat{Y} = -2,12 + 1,42^{***} Tro + 0,26^{***} OxMn + 0,11^{***} OxFeC + 0,32^{o} pH$	0,96
Zn - 2	$\hat{Y} = -0,12 + 1,18^{***} Tro + 0,08^{*} OxMn + 0,08^{o} OxFeA$	0,97
Zn - 3	$\hat{Y} = 0,18 + 1,19^{***} Tro + 0,38^{***} OxMn - 0,01^{**} Res$	0,87
----- Extração por Mehlich-1 em função das frações químicas -----		
Cu - 0	$\hat{Y} = -0,02 + 1,24^{***} MO + 0,28^{***} OxMn - 0,17^{***} OxFeC - 0,01^{*} Res$	0,68
Cu - 1	$\hat{Y} = -0,10 + 1,47^{***} MO + 0,37^{***} OxMn - 0,09^{***} OxFeA + 0,09^{*} OxFeC$	0,79
Cu - 2	$\hat{Y} = -2,06 + 0,94^{***} MO + 0,31^{***} OxMn - 0,07^{*} OxFeC + 0,39^{**} pH$	0,75
Cu - 3	$\hat{Y} = 0,64 + 0,69^{***} OxMn + 0,02^{***} Res - 0,22^{**} pH$	0,63
Fe - 0	$\hat{Y} = -337 + 0,83^{*} Tro + 1,61^{***} MO + 1,51^{***} OxMn - 0,01^{*} OxFeA - 0,0009^{***} OxFeC - 0,001^{***} Res + 72^{***} pH$	0,92
Fe - 1	$\hat{Y} = -269 + 1,08^{**} Tro + 1,34^{***} OxMn - 0,001^{***} OxFeC - 0,001^{***} Res + 59^{***} pH$	0,89
Fe - 2	$\hat{Y} = -133 + 1,05^{***} Tro + 0,79^{***} MO + 0,92^{***} OxMn - 0,001^{***} OxFeC - 0,0004^{***} Res - 30^{***} pH$	0,95
Fe - 3	$\hat{Y} = -83 + 1,01^{***} Tro + 1,14^{***} MO + 0,95^{***} OxMn - 0,001^{***} OxFeC - 0,0004^{***} Res - 20^{***} pH$	0,92
Mn - 0	$\hat{Y} = -1,87 + 0,50^{***} Tro + 0,97^{***} OxMn - 0,01^{***} Res$	0,93
Mn - 1	$\hat{Y} = -1,51 + 0,34^{***} Tro - 0,69^{***} OxMn + 0,06^{o} OxFeA - 0,004^{***} Res$	0,94
Mn - 2	$\hat{Y} = -2,175 + 0,488^{***} Tro + 0,896^{***} OxMn + 0,075^{o} OxFeA - 0,003^{*} Res$	0,95
Mn - 3	$\hat{Y} = -2,13 + 0,48^{***} Tro + 0,45^{***} OxMn + 0,16^{***} OxFeA - 0,002^{o} Res$	0,97
Zn - 0	$\hat{Y} = -20,46 + 3,65^{***} Tro + 1,71^{o} MO + 2,24^{***} OxMn + 0,43^{*} OxFeC + 3,61^{**} pH$	0,89
Zn - 1	$\hat{Y} = -9,48 + 2,01^{***} Tro + 0,65^{***} OxMn + 0,26^{***} OxFeC + 0,01^{*} Res + 1,60^{***} pH$	0,96
Zn - 2	$\hat{Y} = -5,13 + 1,76^{***} Tro + 0,48^{***} OxMn + 0,16^{**} OxFeC + 0,91^{**} pH$	0,94
Zn - 3	$\hat{Y} = -5,54 + 1,49^{***} Tro + 0,40^{***} OxMn + 0,23^{o} OxFeA + 0,14^{**} OxFeC + 1,03^{**} pH$	0,91

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. <sup>(2)</sup> Cu-0, Cu-1, Cu-2 e Cu-3: teor de Cu em mg/dm<sup>3</sup> obtido pela extração de amostras de solo antes do primeiro cultivo, depois do primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente. <sup>(3)</sup> o, \*, \*\*, \*\*\*: significativos a 10, 5, 1 e 0,1 % de probabilidade. As variáveis dependentes são: pH em água e as frações trocáveis (Tro), ligada à matéria orgânica (MO), oclusa nos óxidos de Mn (OxMn), oclusa nos óxidos amorfos (OxFeA) e cristalinos (OxFeC) de Fe e ocluso em óxidos livres de Fe residual, de Al e em caulinita (Res). Todos os elementos nas frações estão expressos em mg/kg. Utilizou-se o processo de *stepwise*.

**Quadro 43. Valores de R<sup>2</sup> total e parcial dos coeficientes significativos dos modelos de regressão múltipla, para os teores das formas disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn pelos extratores DTPA e Mehlich-1(M1) antes e após cada cultivo, em 11 dos 14 solos<sup>(1)</sup> estudados**

Micro	Cultivo	R <sup>2</sup> total	R <sup>2</sup> parcial						
			pH água	Tro	MO	OxMn	OxFeA	OxFeC	Res
----- Disponível por DTPA pH 7,3 -----									
Cu	0 <sup>(2)</sup>	0,83	-	-	0,79 <sup>***</sup>	-	-	0,03 <sup>**</sup>	0,02 <sup>***</sup>
	1	0,75	-	-	0,73 <sup>***</sup>	-	-	-	0,02 <sup>*</sup>
	2	0,84	-	-	0,72 <sup>***</sup>	0,11 <sup>***</sup>	-	0,02 <sup>**</sup>	-
	3	0,88	-	-	0,77 <sup>***</sup>	0,10 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	0,01 <sup>**</sup>	-
Fe	0	0,90	0,26 <sup>***</sup>	0,11 <sup>***</sup>	0,02 <sup>**</sup>	0,05 <sup>***</sup>	0,03 <sup>***</sup>	-	0,42 <sup>***</sup>
	1	0,87	0,55 <sup>***</sup>	0,10 <sup>***</sup>	0,05 <sup>***</sup>	0,07 <sup>***</sup>	0,09 <sup>***</sup>	-	-
	2	0,82	0,49 <sup>***</sup>	0,10 <sup>***</sup>	0,07 <sup>***</sup>	0,13 <sup>***</sup>	0,03 <sup>**</sup>	-	-
	3	0,91	0,58 <sup>***</sup>	0,09 <sup>***</sup>	0,05 <sup>***</sup>	0,13 <sup>***</sup>	0,04 <sup>***</sup>	-	0,02 <sup>***</sup>
Mn	0	0,92	0,03 <sup>***</sup>	0,87 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	-	-	-	0,01 <sup>**</sup>
	1	0,97	0,01 <sup>***</sup>	0,93 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	0,03 <sup>***</sup>	-	<0,01 <sup>o</sup>	<0,01 <sup>o</sup>
	2	0,97	0,01 <sup>***</sup>	0,93 <sup>***</sup>	-	0,02 <sup>***</sup>	-	-	<0,01 <sup>**</sup>
	3	0,96	0,02 <sup>***</sup>	0,92 <sup>***</sup>	-	-	0,01 <sup>***</sup>	-	-
Zn	0	0,97	<0,01 <sup>**</sup>	0,93 <sup>***</sup>	-	0,03 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>*</sup>	<0,01 <sup>*</sup>	-
	1	0,96	<0,01 <sup>o</sup>	0,92 <sup>***</sup>	-	0,03 <sup>***</sup>	-	<0,01 <sup>**</sup>	-
	2	0,97	-	0,96 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	-	-
	3	0,87	-	0,80 <sup>***</sup>	-	0,05 <sup>***</sup>	-	-	0,02 <sup>**</sup>
----- Disponível Mehlich-1 -----									
Cu	0	0,68	-	-	0,40 <sup>***</sup>	0,21 <sup>***</sup>	-	0,05 <sup>***</sup>	0,02 <sup>*</sup>
	1	0,79	-	-	0,53 <sup>***</sup>	0,22 <sup>***</sup>	0,02 <sup>**</sup>	0,02 <sup>*</sup>	-
	2	0,75	0,04 <sup>**</sup>	-	0,55 <sup>***</sup>	0,15 <sup>***</sup>	-	0,02 <sup>*</sup>	-
	3	0,63	-	-	0,36 <sup>***</sup>	0,23 <sup>***</sup>	0,02 <sup>o</sup>	0,02 <sup>o</sup>	-
Fe	0	0,92	0,05 <sup>***</sup>	0,01 <sup>**</sup>	0,01 <sup>*</sup>	0,32 <sup>***</sup>	0,01 <sup>*</sup>	0,40 <sup>***</sup>	0,12 <sup>***</sup>
	1	0,89	0,05 <sup>***</sup>	0,01 <sup>**</sup>	-	0,38 <sup>***</sup>	-	0,34 <sup>***</sup>	0,10 <sup>***</sup>
	2	0,95	0,04 <sup>***</sup>	0,04 <sup>***</sup>	0,01 <sup>***</sup>	0,36 <sup>***</sup>	-	0,43 <sup>***</sup>	0,06 <sup>***</sup>
	3	0,92	0,02 <sup>***</sup>	0,02 <sup>***</sup>	0,05 <sup>***</sup>	0,37 <sup>***</sup>	-	0,42 <sup>***</sup>	0,05 <sup>***</sup>
Mn	0	0,93	-	0,83 <sup>***</sup>	-	0,08 <sup>***</sup>	-	-	0,03 <sup>***</sup>
	1	0,94	-	0,82 <sup>***</sup>	-	0,10 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	-	0,02 <sup>***</sup>
	2	0,95	-	0,85 <sup>***</sup>	-	0,09 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	-	<0,01 <sup>*</sup>
	3	0,97	-	0,90 <sup>***</sup>	-	0,05 <sup>***</sup>	0,01 <sup>***</sup>	-	<0,01 <sup>o</sup>
Zn	0	0,89	0,01 <sup>***</sup>	0,74 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	0,13 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>*</sup>	-
	1	0,96	0,01 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	-	0,07 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>*</sup>
	2	0,94	0,01 <sup>**</sup>	0,88 <sup>***</sup>	-	0,05 <sup>***</sup>	-	<0,01 <sup>*</sup>	-
	3	0,91	0,01 <sup>*</sup>	0,82 <sup>***</sup>	-	0,07 <sup>***</sup>	0,02 <sup>***</sup>	0,01 <sup>**</sup>	-

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. <sup>o</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup>: Significativos a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente. <sup>(2)</sup> 0-antes do primeiro e depois do 1, 2 e 3 cultivos. Utilizou-se o processo de *stepwise*.

(Quadros 42 e 43), concordando com os dados apresentados por Shuman (1986); além disso, as frações mais lábeis (Fe-Tro, Fe-MO, Fe-OxMn e Fe-OxFeA) contribuíram com valores pequenos e próximos entre si (Quadro 43), confirmando o ataque leve nessas frações, como previsto, pela ação extratora menos agressiva desse reagente (Lindsay & Norvell, 1978; Nascimento, 2001). O Mehlich-1, por outro lado, teve apenas uma pequena parte da variação dos seus teores disponíveis de Fe (de 2 a 5 %, Quadro 43) explicada pelos valores de pH, quando os valores divergentes dos solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP foram retirados da análise (Quadros 41 e 43). As frações mais estáveis (Fe-OxMn, Fe-OxFeC e Fe-Res) foram as que mais explicaram a variação do Fe disponível (Quadro 43), como esperado, devido à agressividade do extrator (Raij & Bataglia, 1991; Menezes, 1998; Oliveira et al., 1999). Um extrator ácido, como o Mehlich-1, pode dissolver partes significativas das frações dos óxidos de Fe e de Mn e os micronutrientes extraídos podem não ser disponíveis para as plantas (Shuman, 1986).

Para o Mn, os dois extratores atacaram as frações trocável e oclusa nos óxidos de Mn (Quadros 42 e 43), mostrando que o controle do Mn disponível nesses solos está em equilíbrio com os óxidos de Mn presentes no solo, seja ele cristalino ou amorfo (Lindsay, 1979), porém o Mn-Tro foi a fração que mais explicou as variações das formas disponíveis (87 a 93 %, no DTPA, e 82 a 90 %, no Mehlich-1, Quadro 43) conforme Shuman (1986) e Nascimento (2001).

Os extratores se comportaram de modo semelhante na extração do Zn, atacando a fração do elemento presente na forma trocável (Quadros 42 e 43). O Zn-Tro explicou 80 a 96 % do Zn disponível por DTPA e 74 a 88 % do Zn disponível por Mehlich-1 (Quadro 43). Provavelmente, O Mehlich-1 solubilizou a fração Zn-OxMn em maior intensidade que o DTPA. Esses dados confirmam os resultados obtidos por Shuman (1986), Sims (1986), Oliveira et al. (1999) e Nascimento (2001), os quais demonstraram que o Zn-Tro é o principal componente da forma disponível.

O Zn é um elemento que se concentra mais nas frações residuais e de óxidos cristalinos de Fe (Shuman, 1979, 1985). A ação do DTPA pH 7,3 durante a extração é de diminuição por quelatação da quantidade do elemento na

forma iônica ( $Zn^{2+}$ ) na solução do solo, a valores muito baixos (Lindsay & Norvell, 1978) o que provoca deslocamento do equilíbrio que leva o Zn a sair da forma trocável para a solução e das formas menos lábeis para as mais lábeis, até atingir um equilíbrio de saturação com o excesso de DTPA presente na suspensão; entretanto, este equilíbrio só é alcançado com a presença de  $10 \text{ mmol/dm}^3$  de Zn que é muito superior à quantidade total de Zn presente na maioria dos solos. Apesar disso, as formas mais estáveis de Zn não são atacadas e, portanto, não são medidas pelo extrator. O Mehlich-1, por outro lado, com um pH de extração de 1,2, tende a solubilizar as frações mais amorfas nas quais o elemento se liga fortemente no solo. Contudo, as frações mais significativas a serem dissolvidas para obtenção do Zn foram o Zn-Tro e o Zn-OxMn, com as quais o elemento tem grande afinidade (Borkert et al., 2001).

Nos quadros 44 a 47 estão relacionados os coeficientes de correlação linear dos conteúdos de Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea do milho, com os teores encontrados nas diferentes frações químicas do solo e com os teores das formas disponíveis. Pode-se observar que apenas o Fe nas diferentes frações teve pouca relação com o acumulado na parte aérea da planta, sobressaindo-se as frações Fe-OxFeA, Fe-OxFeC e Fe-Res (Quadro 44). É necessário considerar-se, no entretanto, que os teores de Fe disponível foram altos em todos os solos e, provavelmente, em condição próxima da saturação para absorção desse nutriente. Assim sendo, as relações encontradas refletem a riqueza de Fe nas respectivas frações medidas. Mesmo se retirando os solos que apresentaram dados discrepantes, as relações das frações de Fe com o Fe absorvido pelas plantas continuaram indefinidas.

As plantas de milho cultivadas absorveram, preferencialmente, o Cu mantido pelas frações Cu-OxMn e Cu-MO, o Fe mantido pela Fe-OxFeA, o Mn mantido principalmente pelas frações Mn-Tro e Mn-OxMn e o Zn mantido pela fração Zn-Tro (Quadros 44, 45 e 46). Obviamente, essas relações mostram as frações lábeis que mantêm os teores dos nutrientes em equilíbrio com as formas dissolvidas na solução do solo, que é o local de onde a planta extrai seus nutrientes (Barber, 1995; Marschner, 1995). O relacionamento entre as frações é

**Quadro 44. Coeficientes de correlação linear dos conteúdos de Cu, Fe, Mn e Zn na planta com os seus respectivos teores em diferentes frações químicas no solo e disponíveis extraídos por DTPA pH 7,3 e Mehlich-1**

Variável	Conteúdo na parte aérea no cultivo							
	Análise com todos os solos utilizados				Análise com 11 solos <sup>(1)</sup>			
	1	2	3	Total	1	2	3	Total
----- Cobre -----								
Cu-MO	0,60 <sup>***</sup>	0,74 <sup>***</sup>	0,70 <sup>***</sup>	0,69 <sup>***</sup>	0,31 <sup>*</sup>	0,39 <sup>***</sup>	0,35 <sup>***</sup>	0,35 <sup>***</sup>
Cu-OxMn	0,88 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,93 <sup>**</sup>	0,93 <sup>***</sup>	0,65 <sup>**</sup>	0,66 <sup>***</sup>	0,65 <sup>***</sup>	0,67 <sup>***</sup>
Cu-OxFeA	0,45 <sup>**</sup>	0,30 <sup>***</sup>	0,42 <sup>***</sup>	0,42 <sup>***</sup>	-0,06	-0,06	-0,04	-0,05
Cu-OxFeC	0,78 <sup>**</sup>	0,79 <sup>***</sup>	0,87 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
Cu-Res	0,57 <sup>***</sup>	0,43 <sup>**</sup>	0,56 <sup>**</sup>	0,55 <sup>***</sup>	-0,16 <sup>o</sup>	-0,17 <sup>o</sup>	0,16 <sup>o</sup>	0,17 <sup>o</sup>
DTPA pH 7,3	0,87 <sup>***</sup>	0,83 <sup>**</sup>	0,93 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,42 <sup>***</sup>	0,51 <sup>***</sup>	0,71 <sup>***</sup>	0,48 <sup>***</sup>
Mehlich-1	0,90 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>	0,92 <sup>**</sup>	0,92 <sup>***</sup>	0,74 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>	0,79 <sup>***</sup>	0,80 <sup>***</sup>
----- Ferro -----								
Fe-Tro	0,10	0,31 <sup>***</sup>	-0,02	0,16 <sup>o</sup>	0,17 <sup>o</sup>	0,37 <sup>***</sup>	0,08	0,26 <sup>o</sup>
Fe-MO	0,07	0,42 <sup>***</sup>	0,20	0,27 <sup>**</sup>	0,04	0,67 <sup>***</sup>	0,37 <sup>***</sup>	0,39 <sup>***</sup>
Fe-OxMn	-0,02	-0,10	-0,02	-0,05	0,13	0,05	0,06	0,11
Fe-OxFeA	0,58 <sup>***</sup>	0,58 <sup>***</sup>	0,64 <sup>**</sup>	0,71 <sup>***</sup>	0,45 <sup>***</sup>	0,46 <sup>***</sup>	0,58 <sup>***</sup>	0,60 <sup>***</sup>
Fe-OxFeC	0,57 <sup>***</sup>	0,40 <sup>***</sup>	0,72 <sup>**</sup>	0,68 <sup>***</sup>	0,43 <sup>***</sup>	0,24 <sup>*</sup>	0,64 <sup>***</sup>	0,53 <sup>***</sup>
Fe-Res	0,36 <sup>***</sup>	0,43 <sup>***</sup>	0,59 <sup>**</sup>	0,53 <sup>***</sup>	-0,06	0,21 <sup>*</sup>	0,42 <sup>***</sup>	0,16 <sup>o</sup>
DTPA pH 7,3	-0,22	0,06	-0,29 <sup>*</sup>	-0,10	-0,17 <sup>o</sup>	0,16 <sup>o</sup>	-0,16 <sup>o</sup>	0,05
Mehlich-1	-0,10	-0,06	-0,34 <sup>***</sup>	-0,21	0,01	-0,07	-0,32 <sup>**</sup>	-0,16 <sup>o</sup>
----- Manganês -----								
Mn-Tro	0,57 <sup>**</sup>	0,93 <sup>**</sup>	0,97 <sup>***</sup>	0,95 <sup>***</sup>	0,73 <sup>***</sup>	0,79 <sup>***</sup>	0,78 <sup>***</sup>	0,80 <sup>***</sup>
Mn-MO	0,07	0,31 <sup>***</sup>	0,29 <sup>**</sup>	0,28 <sup>*</sup>	0,26 <sup>*</sup>	0,37 <sup>***</sup>	0,46 <sup>***</sup>	0,38 <sup>***</sup>
Mn-OxMn	0,16 <sup>o</sup>	0,71 <sup>***</sup>	0,88 <sup>***</sup>	0,75 <sup>**</sup>	0,59 <sup>***</sup>	0,76 <sup>***</sup>	0,77 <sup>***</sup>	0,74 <sup>***</sup>
Mn-OxFeA	0,65 <sup>***</sup>	0,88 <sup>***</sup>	0,83 <sup>***</sup>	0,87 <sup>***</sup>	0,49 <sup>***</sup>	0,69 <sup>***</sup>	0,68 <sup>***</sup>	0,65 <sup>***</sup>
Mn-OxFeC	0,86 <sup>***</sup>	0,92 <sup>***</sup>	0,80 <sup>***</sup>	0,90 <sup>***</sup>	0,43 <sup>***</sup>	0,55 <sup>***</sup>	0,49 <sup>***</sup>	0,51 <sup>***</sup>
Mn-Res	0,94 <sup>**</sup>	0,71 <sup>***</sup>	0,52 <sup>***</sup>	0,69 <sup>***</sup>	-0,05	0,10	0,21 <sup>*</sup>	0,10
DTPA pH 7,3	0,22 <sup>*</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,93 <sup>***</sup>	0,78 <sup>***</sup>	0,77 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>
Mehlich-1	0,39 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,94 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	0,94 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,95 <sup>***</sup>
----- Zinco -----								
Zn-Tro	0,87 <sup>***</sup>	0,71 <sup>***</sup>	0,84 <sup>**</sup>	0,88 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,79 <sup>***</sup>	0,89 <sup>***</sup>	0,91 <sup>***</sup>
Zn-MO	0,64 <sup>***</sup>	0,59 <sup>***</sup>	0,62 <sup>***</sup>	0,67 <sup>**</sup>	0,71 <sup>***</sup>	0,72 <sup>***</sup>	0,77 <sup>***</sup>	0,76 <sup>***</sup>
Zn-OxMn	0,33 <sup>**</sup>	0,52 <sup>***</sup>	0,48 <sup>***</sup>	0,42 <sup>***</sup>	0,56 <sup>***</sup>	0,68 <sup>***</sup>	0,59 <sup>***</sup>	0,62 <sup>***</sup>
Zn-OxFeA	-0,15 <sup>o</sup>	0,04	-0,08	-0,10	-0,09	0,00	-0,11	-0,08
Zn-OxFeC	-0,23 <sup>**</sup>	0,04	-0,01	-0,14	-0,21 <sup>*</sup>	0,05	-0,12	-0,15 <sup>o</sup>
Zn-Res	0,11	0,30 <sup>**</sup>	0,19 <sup>*</sup>	0,17 <sup>*</sup>	0,53 <sup>***</sup>	0,67 <sup>***</sup>	0,60 <sup>***</sup>	0,60 <sup>***</sup>
DTPA pH 7,3	0,81 <sup>**</sup>	0,77 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	0,88 <sup>***</sup>	0,84 <sup>***</sup>	0,90 <sup>***</sup>	0,92 <sup>***</sup>
Mehlich-1	0,74 <sup>***</sup>	0,79 <sup>***</sup>	0,83 <sup>***</sup>	0,82 <sup>***</sup>	0,81 <sup>***</sup>	0,87 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	0,87 <sup>***</sup>

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. °, \*, \*\* e \*\*\* : Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade pelo teste F. Frações químicas: trocável (Tro), ligada à matéria orgânica (MO), oclusa nos óxidos de Mn (OxMn), oclusa nos óxidos amorfos (OxFeA) e cristalinos (OxFeC) de Fe e ocluso em óxidos livres de Fe residual, Al e em caulinita (Res).

**Quadro 45. Equações de regressão e R<sup>2</sup> total e parcial relacionando os conteúdos de Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea de plantas de milho com os seus teores presentes nas diferentes frações químicas e com o pH nos 14 solos utilizados**

Elemento	Equação de Regressão <sup>(2)</sup>		R <sup>2</sup>
----- Extração por plantas de milho (µg/vaso) em função frações químicas -----			
Cu – 1 <sup>(1)</sup>	$\hat{Y} = 4,69 + 17,79^{***} \text{OxMn} + 2,82^{***} \text{OxFeA} - 4,00^{**} \text{OxFeC}$		0,80
Cu – 2	$\hat{Y} = -13,18 + 14,27^{***} \text{MO} + 8,44^{***} \text{OxMn} - 1,11^{**} \text{OxFeA} - 2,09^{***} \text{OxFeC} + 3,29^{*} \text{pH}$		0,90
Cu – 3	$\hat{Y} = -39,47 + 7,91^{**} \text{MO} + 11,49^{**} \text{OxMn} + 7,50^{***} \text{pH}$		0,90
Cu – Acum.	$\hat{Y} = 1,44 + 33,71^{***} \text{MO} + 38,72^{***} \text{OxMn} - 6,18^{*} \text{OxFeC}$		0,88
Fe – 1	$\hat{Y} = 531,47 + 0,49^{***} \text{OxFeA} + 0,03^{***} \text{OxFeC} - 0,01^{*} \text{Res}$		0,42
Fe – 2	$\hat{Y} = 245,65 + 46,82^{***} \text{Tro} + 38,54^{***} \text{MO} + 0,37^{***} \text{OxFeA}$		0,49
Fe – 3	$\hat{Y} = 469,86 + 15,86^{o} \text{MO} + 0,12^{o} \text{OxFeA} + 0,02^{***} \text{OxFeC}$		0,55
Fe – Acum.	$\hat{Y} = -977,94 + 113,28^{**} \text{Tro} - 14,05^{*} \text{OxMn} + 1,16^{***} \text{OxFeA} + 0,02^{o} \text{OxFeC} + 793^{**} \text{pH}$		0,63
Mn – 1	$\hat{Y} = 233 + 116^{***} \text{Tro} - 145^{***} \text{MO} - 12^{***} \text{OxMn} + 49^{o} \text{OxFeA} + 17^{***} \text{OxFeC} - 2^{***} \text{Res}$		0,97
Mn – 2	$\hat{Y} = 1317 + 51^{*} \text{Tro} + 172^{***} \text{MO} + 22^{***} \text{OxMn} + 37^{***} \text{OxFeC} - 348^{**} \text{pH}$		0,98
Mn – 3	$\hat{Y} = -475 + 71^{*} \text{Tro} + 48^{***} \text{OxMn} + 114^{***} \text{OxFeA} - 32^{***} \text{OxFeC}$		0,99
Mn – Acum.	$\hat{Y} = -1064 + 524^{***} \text{Tro} + 42^{***} \text{OxMn}$		0,97
Zn – 1	$\hat{Y} = -48,30 + 544,44^{***} \text{Tro} - 188,76^{o} \text{MO} + 2,17^{***} \text{Res}$		0,78
Zn – 2	$\hat{Y} = 93,25 + 49,44^{**} \text{Tro} + 146,78^{***} \text{MO} + 42,28^{***} \text{OxMn} + 1,78^{***} \text{Res} - 40,63^{*} \text{pH}$		0,74
Zn – 3	$\hat{Y} = -4,53 + 163,64^{***} \text{Tro} + 77,79^{*} \text{MO} + 41,69^{***} \text{OxMn} - 37,97^{o} \text{OxFeA} + 1,16^{***} \text{Res}$		0,79
Zn – acum..	$\hat{Y} = -86,48 + 753,70^{***} \text{Tro} + 323,59^{*} \text{MO} + 132,21^{*} \text{OxMn} - 35,02^{o} \text{OxFeC} + 5,07^{***} \text{Res}$		0,85

Micro Cultivo	R <sup>2</sup> total	R <sup>2</sup> parcial							
		pH água	Tro	MO	OxMn	OxFeA	OxFeC	Res	
----- Conteúdo na planta -----									
Cu	1 <sup>(1)</sup>	0,80	-	-	-	0,77 <sup>***</sup>	0,02 <sup>*</sup>	0,02 <sup>**</sup>	-
	2	0,90	0,01	-	0,05 <sup>***</sup>	0,80 <sup>***</sup>	0,03 <sup>***</sup>	0,01 <sup>***</sup>	-
	3	0,90	0,02 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>*</sup>	0,86 <sup>***</sup>	-	-	-
	Total	0,88	-	-	0,02 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>*</sup>	-
Fe	1	0,42	-	-	-	-	0,34 <sup>***</sup>	0,05 <sup>**</sup>	0,04 <sup>*</sup>
	2	0,49	-	0,07 <sup>**</sup>	0,09 <sup>***</sup>	-	0,33 <sup>***</sup>	-	-
	3	0,55	-	-	0,03 <sup>o</sup>	-	0,01 <sup>o</sup>	0,52 <sup>***</sup>	-
	Total	0,63	0,01 <sup>o</sup>	0,03 <sup>*</sup>	-	0,03 <sup>*</sup>	0,51 <sup>***</sup>	0,05 <sup>*</sup>	-
Mn	1	0,97	-	0,02 <sup>**</sup>	0,01 <sup>***</sup>	0,01 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>	0,93 <sup>***</sup>	<0,01 <sup>o</sup>
	2	0,98	<0,01 <sup>**</sup>	<0,01 <sup>*</sup>	0,43 <sup>***</sup>	0,55 <sup>***</sup>	-	<0,01 <sup>***</sup>	-
	3	0,99	-	<0,01 <sup>*</sup>	-	0,14 <sup>***</sup>	0,80 <sup>***</sup>	0,05 <sup>***</sup>	-
	Total	0,97	-	0,95 <sup>***</sup>	-	0,02 <sup>***</sup>	-	-	-
Zn	1	0,78	-	0,76 <sup>***</sup>	0,01 <sup>o</sup>	-	-	-	0,01 <sup>*</sup>
	2	0,74	0,01 <sup>*</sup>	0,50 <sup>**</sup>	0,06 <sup>***</sup>	0,11 <sup>***</sup>	-	-	0,06 <sup>**</sup>
	3	0,79	-	0,70 <sup>**</sup>	0,01 <sup>o</sup>	0,06 <sup>***</sup>	0,01 <sup>o</sup>	-	0,02 <sup>**</sup>
	Total	0,85	-	0,78 <sup>***</sup>	0,01 <sup>*</sup>	0,03 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>o</sup>	0,02 <sup>**</sup>

<sup>(1)</sup> 1, 2, 3, acum./total: cultivos 1, 2 e 3 e somatório. <sup>(2)</sup> Todos os coeficientes são significativos a 0,1% de probabilidade pelo teste t. As variáveis dependentes são: pH em água e as frações trocáveis (Tro), ligada à matéria orgânica (MO), oclusa nos óxidos de Mn (OxMn), oclusa nos óxidos amorfos (OxFeA) e cristalinos (OxFeC) de Fe e ocluso em óxidos livres de Fe residual, Al e em caulinita (Res). Todos os elementos nas frações em estudo estão expressos em mg/kg. Utilizou-se o processo de *stepwise*.

**Quadro 46. Equações de regressão e R<sup>2</sup> total e parcial relacionando os conteúdos de Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea de plantas de milho com os seus teores presentes nas diferentes frações químicas e com o pH, em 11 dos 14 solos<sup>(1)</sup> estudados**

Elemento		Equação de Regressão <sup>(3)</sup>								R <sup>2</sup>
----- Extração por plantas de milho (µg/ vaso) em função das frações químicas -----										
Cu - 1 <sup>(2)</sup>		$\hat{Y} = -90,10 + 27,60^{***}MO + 18,37^{***}OxMn - 3,33^{***}OxFeA + 18,67^{*}pH$								0,55
Cu - 2		$\hat{Y} = 7,15 + 28,90^{***}MO + 5,10^{***}OxMn - 3,16^{***}OxFeA - 2,47^{**}OxFeC - 0,20^{**}CRes$								0,73
Cu - 3		$\hat{Y} = -57,66 + 19,20^{***}MO + 11,27^{***}OxMn - 2,30^{**}OxFeA + 11,63^{*}pH$								0,61
Cu - Acum.		$\hat{Y} = -192,26 + 68,43^{***}MO + 38,24^{***}OxMn - 0,69^{**}OxFeA + 39,43^{**}pH$								0,65
Fe - 1		$\hat{Y} = 657 + 37,28^{0} + 0,51^{***}OxFeA + 0,03^{***}OxFeC - 0,03^{***}Res$								0,46
Fe - 2		$\hat{Y} = 5638 + 47,15^{***}Tro + 88,52^{***}MO - 12,15^{**}OxMn + 0,54^{***}OxFeA - 0,01^{*}Res - 1096^{**}pH$								0,66
Fe - 3		$\hat{Y} = 303 + 50,61^{***}MO + 0,02^{***}OxFeC$								0,53
Fe - Acum.		$\hat{Y} = 13120 + 110,77^{**}Tro - 44,58^{***}OxMn + 2,33^{***}OxFeA - 0,02^{*}Res - 2017^{**}pH$								0,57
Mn - 1		$\hat{Y} = -52,90 + 151,73^{***}Tro + 39,17^{***}OxFeC - 3,26^{**}Res$								0,63
Mn - 2		$\hat{Y} = -401,25 + 75,79^{*}Tro + 224,53^{***}OxMn$								0,76
Mn - 3		$\hat{Y} = -686,36 + 118,51^{**}Tro + 397,73^{***}OxMn$								0,75
Mn - acum...		$\hat{Y} = -1043,50 + 322,10^{**}Tro + 915,02^{***}OxMn - 5,05^{*}Res$								0,77
Zn - 1		$\hat{Y} = 141,16 + 638,17^{***}Tro$								0,79
Zn - 2		$\hat{Y} = -121,08 + 45,18^{*}Tro + 129,96^{**}MO + 38,25^{**}OxMn + 3,34^{***}Res$								0,74
Zn - 3		$\hat{Y} = -33,90 + 161,62^{***}Tro + 131,76^{**}MO + 2,27^{**}Res$								0,82
Zn - acum..		$\hat{Y} = 219,79 + 959,54^{***}Tro + 98,47^{0}OxMn$								0,84

Micro	Cultivo	R <sup>2</sup> total	R <sup>2</sup> parcial							
			pH água	Tro	MO	OxMn	OxFeA	OxFeC	Res	
----- Conteúdo na planta -----										
Cu	1 <sup>(2)</sup>	0,58	0,07 <sup>**</sup>	-	0,06 <sup>***</sup>	0,42 <sup>***</sup>	0,03 <sup>*</sup>	-	-	
	2	0,74	-	-	0,11 <sup>***</sup>	0,44 <sup>***</sup>	0,14 <sup>***</sup>	0,02 <sup>*</sup>	0,03 <sup>**</sup>	
	3	0,61	0,07 <sup>**</sup>	-	0,08 <sup>***</sup>	0,42 <sup>***</sup>	0,03 <sup>*</sup>	-	-	
	Total	0,65	0,04 <sup>**</sup>	-	0,08 <sup>***</sup>	0,45 <sup>***</sup>	0,08 <sup>**</sup>	-	-	
Fe	1	0,46	-	0,02 <sup>0</sup>	-	-	0,20 <sup>**</sup>	0,11 <sup>**</sup>	0,13 <sup>**</sup>	
	2	0,66	0,02 <sup>*</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,45 <sup>***</sup>	0,02 <sup>*</sup>	0,06 <sup>**</sup>	-	0,03 <sup>*</sup>	
	3	0,53	-	-	0,12 <sup>***</sup>	-	-	0,41 <sup>***</sup>	-	
	Total	0,57	0,02 <sup>0</sup>	0,06 <sup>**</sup>	-	0,09 <sup>***</sup>	0,37 <sup>***</sup>	-	0,03 <sup>0</sup>	
Mn	1	0,63	-	0,53 <sup>***</sup>	-	-	-	0,04 <sup>**</sup>	0,06 <sup>**</sup>	
	2	0,76	-	0,62 <sup>***</sup>	-	0,13 <sup>***</sup>	-	-	-	
	3	0,75	-	0,60 <sup>***</sup>	-	0,15 <sup>***</sup>	-	-	-	
	Total	0,77	-	0,64 <sup>***</sup>	-	0,11 <sup>***</sup>	-	-	0,02 <sup>*</sup>	
Zn	1	0,79	-	0,79 <sup>***</sup>	-	-	-	-	-	
	2	0,77	-	0,63 <sup>***</sup>	0,05 <sup>***</sup>	0,03 <sup>**</sup>	-	-	0,06 <sup>***</sup>	
	3	0,82	-	0,79 <sup>***</sup>	0,01 <sup>*</sup>	-	-	-	0,02 <sup>**</sup>	
	Total	0,84	-	0,84 <sup>***</sup>	-	0,01 <sup>0</sup>	-	-	-	

<sup>(1)</sup> Não foram considerados os solos RU-SF, LV-SL e LVdf-SSP. <sup>(2)</sup> 1, 2, 3, acum./total: cultivos 1, 2 e 3 e somatório <sup>(3)</sup> Todos os coeficientes são significativos a 0,1% de probabilidade pelo teste t. As variáveis dependentes são: pH em água e as frações trocáveis (Tro), ligada à matéria orgânica (MO), oclusa nos óxidos de Mn (OxMn), oclusa nos óxidos amorfos (OxFeA) e cristalinos (OxFeC) de Fe e ocluso em óxidos livres de Fe residual, Al e em caulinita (Res). Todos os elementos nas frações em estudo estão expressos em mg/kg. Utilizou-se o processo de *stepwise*.

**Quadro 47. Equações de regressão dos conteúdos de Cu, Mn e Zn (CCu, CMn e CZn, respectivamente, em µg/vaso) na parte aérea de plantas de milho com os seus teores disponíveis extraídos por DTPA pH 7,3 (DCu, DMn e DZn) e por Mehlich-1 (MCu, MMn e MZn, em mg/dm<sup>3</sup>) em todos os solos e cultivos estudados**

Elemento <sup>(1)</sup>	Equação de Regressão <sup>(2)</sup>	R <sup>2</sup>
----- DTPA pH 7,3 -----		
CCu - 1	$\hat{Y} = 6,51 + 17,33DCu$	0,76
CCu - 2	$\hat{Y} = -6,59 + 24,68DCu - 2,74DCu^2$	0,76
CCu - 3	$\hat{Y} = -0,75 + 50,77DCu - 7,25DCu^2$	0,91
CCu - Acumulado	$\hat{Y} = -8,92 + 74,51DCu - 5,44DCu^2$	0,82
CMn - 1	$\hat{Y} = -321,66 + 689,78DMn - 12,52DMn^2 + 0,06DMn^3$	0,70
CMn - 2	$\hat{Y} = -868,94 + 459,84DMn - 3,08DMn^2$	0,95
CMn - 3	$\hat{Y} = -465,80 + 641,26DMn - 3,42DMn^2$	0,96
CMn - Acumulado	$\hat{Y} = -3390 + 2803,37DMn - 40,42DMn^2 + 0,17DMn^3$	0,92
CZn - 1	$\hat{Y} = 147,51 + 352,14DZn$	0,65
CZn - 2	$\hat{Y} = 74,96 + 179,11DZn - 207,42DZn^2$	0,69
CZn - 3	$\hat{Y} = 89,61 + 245,34DZn - 25,85DZn^2$	0,74
CZn - Acumulado	$\hat{Y} = 405,33 + 590,30DZn$	0,74
----- Mehlich-1 -----		
CCu - 1	$\hat{Y} = 11,96 + 20,37MCu - 1,13MCu^2$	0,83
CCu - 2	$\hat{Y} = -1,00 + 22,45MCu - 3,65 MCu^2 + 0,20MCu^3$	0,87
CCu - 3	$\hat{Y} = 1,45 + 30,36MCu - 2,65MCu^2$	0,91
CCu - Acumulado	$\hat{Y} = 19,55 + 63,77MCu - 4,67 MCu^2$	0,91
CMn - 1	$\hat{Y} = 219,08 + 296,55MMn - 2,55MMn^2$	0,66
CMn - 2	$\hat{Y} = -725 + 560,61MMn - 4,84MMn^2$	0,91
CMn - 3	$\hat{Y} = -468,17 + 403,26MMn - 1,40MMn^2$	0,96
CMn - Acumulado	$\hat{Y} = -1168,85 + 1173,69MMn - 6,94MMn^2$	0,92
CZn - 1	$\hat{Y} = 209,81 - 10,00MZn + 6,02MZn^2$	0,59
CZn - 2	$\hat{Y} = 91,28 + 98,06MZn - 6,58MZn^2$	0,69
CZn - 3	$\hat{Y} = 71,08 + 130,77MZn - 6,63MZn^2$	0,70
CZn - Acumulado	$\hat{Y} = 400,83 + 20,43MZn + 0,77MZn^2$	0,70

<sup>(1)</sup> Os números seguidos dos conteúdos dos elementos (CCu, CFe, CMn e CZn), indicam o cultivo a que os dados se referem e o acumulado de todos os cultivos. <sup>(2)</sup> Todos os coeficientes foram significativos estatisticamente a 0,1 % de probabilidade.

algo conhecido e evidenciado no quadro 44. As frações utilizadas pelas plantas de milho (Quadros 45 e 46) foram ligeiramente diferentes daquelas que contribuíram para as formas disponíveis medidas pelos extratores usados (Quadros 40 e 42). No geral, eles extraíram um número maior de frações que aqueles utilizados pelas plantas mas, com exceção do Fe, ambos os extratores tiveram capacidade de prever mais de 70 % da variação dos valores de conteúdo de Cu, Mn e Zn nas plantas, no acumulado dos três cultivos (Quadro 47). Comparando-se a efetividade dos extratores com 14 e com 11 solos na análise (Quadro 44), no entanto, pode-se constatar que o Mehlich-1 tendeu a ser superior ao DTPA na previsão da absorção de Cu e Mn, em especial no conjunto de solos com dados mais consistentes. O inverso aconteceu com a previsão do Zn disponível, onde o DTPA foi superior.

Dada às pequenas diferenças encontradas entre os extratores, pode-se afirmar que o DTPA pH 7,3 e o Mehlich-1 foram eficientes na previsão do *status* da fertilidade dos solos para a cultura do milho, nos 14 solos utilizados, confirmando o já mostrado por diversos pesquisadores (Raij & Bataglia, 1991; Sims & Johnson, 1991; Menezes, 1998; Lopes & Abreu, 2000; Abreu et al., 2001; Borkert et al., 2001).

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com o objetivo de: i) analisar as frações de Cu, Fe, Mn e Zn em amostras de solo sob plantações de eucalipto, em condições naturais ou após a aplicação desses nutrientes aos solos; ii) verificar quais frações estão disponíveis para as plantas em alguns solos de Minas Gerais; iii) avaliar o poder de suprimento dos solos (inclusive de B) e iv) estudar a dinâmica de retenção das frações dos micronutrientes após sua aplicação ao solo.

Numa primeira etapa, em amostras de 15 solos foram fracionados os teores totais dos micronutrientes catiônicos nativos nas frações: trocável (Tro), ligado na matéria orgânica (MO), ocluso nos óxidos de Mn (OxMn), nos óxidos de Fe amorfo (OxFeA) e cristalino (OxFeC) e na fração residual (Res). Os teores disponíveis dos micronutrientes foram caracterizados com Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA.

Numa segunda etapa, amostras de 14 solos foram incubadas com as doses isoladas de B-0,5; Cu-2,0; Fe-10,0; Mn-5,0 e Zn-5,0 mg/dm<sup>3</sup>, além de um tratamento sem e outro com todos os micronutrientes, sempre na presença de todos os demais nutrientes essenciais à planta. As amostras foram incubadas por 15 dias e depois cultivadas por três ciclos de crescimento de 30 dias. Os micronutrientes foram analisados da parte aérea das plantas. Os tratamentos constituíram um fatorial de 14 x 7, com 3 repetições em blocos ao acaso. Após incubação das amostras, coletaram-se 100 cm<sup>3</sup> de solo de cada amostra, para o

fracionamento e a extração da forma disponível por  $\text{CaCl}_2$  5 mmol/L (para B), DTPA e Mehlich-1. Concluiu-se que:

- Os solos apresentaram os seus teores totais nesta ordem crescente: para Cu: Cu-Tro(0,0%) < Cu-MO(2,4%) < Cu-OxMn(6,1%) < Cu-OxFeA(15,4%) < Cu-OxFeC(15,6%) < Cu-Res(60,4%); para Fe: Fe-Tro(0,00%) < Fe-MO(0,02%) < Fe-OxMn(0,45%) < Fe-OxFeA(5,7%) < Fe-Res(20,2%) < Fe-OxFeC(73,7%); para Mn: Mn-MO(1,6%) < Mn-OxFeA(7,9%) < Mn-Tro(12,7%) < Mn-OxMn(13,4%) < Mn-OxFeC(14,5%) < Mn-Res(49,9%); e para Zn: Zn-Tro(0,5%) < Zn-MO(0,7%) < Zn-OxFeA(2,3%) < Zn-OxMn(3,1%) < Zn-OxFeC(8,4%) < Zn-Res(84,9%).

- Os micronutrientes variaram sua distribuição nas diferentes frações químicas estudadas em função da textura e das classes de solo utilizadas.

- O DTPA, o Mehlich-1 e o Mehlich-3 se correlacionaram fortemente na extração de Cu, Mn e Zn. O DTPA e o Mehlich-1 não se correlacionou bem na extração do Fe. As frações Cu-MO, Fe-Tro, Mn-Tro e Zn-Tro explicaram a maior parte da variação dos teores da forma disponível nativa estimadas.

- Os micronutrientes aplicados se distribuíram em conformidade com sua afinidade pelos componentes do solo. O Cu, nas frações Cu-MO, Cu-OxMn e Cu-OxFeA; o Fe, na fração Fe-Tro; O Mn, na fração Mn-Tro; e o Zn, nas frações Zn-Tro, Zn-MO, Zn-OxMn e Zn-Res.

- Os extratores foram eficientes na discriminação dos tratamentos usados, com o DTPA distinguindo melhor para Cu, Fe e Mn.

- Somente o  $\text{CaCl}_2$  5 mmol/L mostrou o esgotamento do B com os cultivos sucessivos. A produção de matéria seca teve resposta significativa apenas à aplicação do Cu, em alguns solos.

- O Mehlich-1 e o DTPA se diferenciaram na extração do Fe. As frações Cu-MO e Cu-OxMn, Mn-Tro e Mn-OxMn, Zn-Tro e Zn-OxMn explicaram a maior parte da variação dos teores disponíveis recuperados.

- As plantas extraíram principalmente o Cu da fração Cu-OxMn; o Fe das frações Fe-OxFeA, o Mn das frações Mn-Tro, Mn-OxMn e o Zn da fração Zn-Tro. Apenas os teores disponíveis de Cu, Mn e Zn extraídos por DTPA e Mehlich-1 tiveram ajuste adequado com conteúdo na planta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de.; ABREU, M.F. de.; RAIJ, B.V.; BATAGLIA, O.C. & ANDRADE, J.C. de. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:3321-3333, 1994.
- ABREU, C.A. de; FERREIRA, M.E. & BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: Zinco e Cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. da; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. de, eds. *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.125-151.
- AL-SEWAILEM, M. S.; KHALED, E. M. & MASHHADY, A. S. Retention of copper by desert sands coated with ferric hydroxides. *Geoderma*, 89: 249-258, 1999.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análises de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES., M.P.F., eds. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável*. Viçosa, SBCS, UFV, DPS, 1996. p.615-645.
- 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.; GUIMARÃES, P.T.G & ALVAREZ V., V.H., eds. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo*, 25:21-32, 2000.

- AMARAL, G. do. Características químicas e físicas de diferentes classes de solo da zona metalúrgica mineira e produtividade de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 99p. (Tese de Mestrado)
- ANDRADE, S.C.; BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. *Bosque*, 16:53-59, 1995.
- ASSAAD, F.F. & NIELSEN, J.D. Adsorption of zinc in selected soils from Denmark. *Acta Agric. Scand.*, 35:48-54, 1985.
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.
- BARBOSA FILHO, M.P.; CANTARELLA, H. & WIETHÖLTER, S. Arroz, Milho e Trigo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. da; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. de, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.285-318.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Fertilising eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. *South African Forestry Journal*, 160:7-12, 1992.
- BARROW, N.J. Reaction of anions and cations with variable-charge soils. *Adv. Agron.*, 38:183-230, 1985.
- BAR-YOSEF, B.; FISHMAN, S. & TALPAZ, H. A model of zinc movement to single roots in soils. *Soil Sci. Soc. Am.*, 44:1272-1279, 1980.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:457-461, 1994.
- BATAGLIA, O.C. Ferro. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.159-171.
- BELLOTE, A.F.J.; SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 2 – Micronutrientes. *IPEF*, 20:27-45, 1980.
- BERGER, K.C. Boron in soil and crops. *Adv. Agron.*, 1:321-341, 1949.
- BERGER, K.C., TRUOG, E. Boron determination in soils and plants using the quinizarin reaction. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 11: 540-545, 1939.
- BINGHAM, F.T. Boron. In: A.L. PAGE., ed. *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Madison, ASA/SSSA, 1982. p.431-447. (Serie Agronomy, 9)
- BORGGGAARD, G.K. Seletive extraction of amorphous iron oxides by EDTA from a Danish sandy loam. *J. Soil. Sci.*, 31:727-734, 1979.

- BORKERT, C.M. Manganês. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.173-190.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & BATAGLIA, O.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: Ferro e Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. da; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. de, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-186.
- BRASIL SOBRINHO, M. de. O.C. do. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1965. 350p. (Tese Livre - Docência)
- BRAY, R.H. Requirements for successful soil tests. Soil Sci., 66: 83-89, 1948.
- CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. & CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. da; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. de, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.89-124.
- CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.243-272.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & DECHEN, A.R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. R. Bras. Ci. Solo, 6:83-88, 1982.
- CASAGRANDE, J.C. O boro em solos do município de Piracicaba. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1978. 122p. (Tese de Mestrado)
- CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., 84:133-144, 1957.
- CHAO, T.T. & SANZOLONE, R.F. Fractionation of soil selenium by sequential partial dissolution. Soil Sci. Soc. Am. J., 53:385-392, 1989.
- CHAO, T.T. Selective dissolution of manganese oxides from soils and sediments with acidified  $\text{NH}_2\text{OH.HCl}$ . Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36: 764-768, 1972.
- CHESWORTH, W. Geochemistry of micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. Micronutrients in agriculture. 2. ed. Madison, SSSA, 1991. (SSSA Book Series, no. 4). p.1-30.
- CHICHORRO, J.F.; REZENDE, J.L.P.; CECON, P.R. Efeito do fertilizante na produtividade e economicidade do *eucalyptus grandis*, no município de Martinho Campos – MG. R. Árvore, 18:33-44, 1994.
- COFFIN, D.E. A method for the determination of free iron in soils and clays. Can. J. Soil Sci., 43:7-17, 1961.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA - CFS-RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. Ed. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC. SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. 224 p.
- DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.113-130.
- De FILIPPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo (metodologia). 2.ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 26p.
- EGREJA FILHO, F.B. Extração seqüencial de metais pesados em solos altamente intemperizados: utilização de componentes-modelo e planejamentos com misturas ternárias na otimização do método. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 287p. (Tese de Doutorado)
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análises de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análises de Solos, Rio de Janeiro, 1979. 250p.
- EVANS, L.J. Retention of boron by agricultural soils from Ontario. Can. J. Soil Sci., 67:33-42. 1987.
- FERREIRA, G.B.; FONTES, R.L.F.; FONTES. M.P.F. & ALVAREZ V., V.H. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. R. Bras. Ci. Solo, 25:91-101, 2001.
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da Cobre. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.131-157.
- FERREYRA H., F.F. & SILVA, F.R. Frações de boro e índices de disponibilidade em solos do estado do Ceará. R. Bras. Ci. Solo, 23:227-236, 1999.
- FONTES, M.P.F. & WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1143-1149, 1991.
- GADDE, R.R. & LAITINEN, H.A. Studies of heavy metal adsorption by hydrous iron and manganese oxides. Anal. Chem., 46:2022-2026, 1974.
- GALRÃO, E.Z. Efeito de micronutrientes e de cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 8:111-116, 1984.

- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de cobre e avaliação da disponibilidade para a soja num Latossolo Vermelho-Amarelo franco-argilo-arenoso fase cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:265-272, 1999.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num Latossolo Vermelho-Escuro, argiloso, fase cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:283-289, 1996.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:255-260, 1995.
- GOLDBERG, S. & GLAUBIG, R.A. Boron adsorption and silicon release by the clay minerals kaolinite, montmorillonite and illite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1374-1379, 1985.
- GOLDBERG, S.P. & SMITH, K.A. Soil manganese: E value, distribution of manganese-54 among soil fractions, and effects of drying. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:559-564, 1984.
- GOMES, P.C.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. da & MENDONÇA, E. de S. Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:543-551, 1997.
- GONÇALVES, J.L. de M. & VALERI, S.V. Eucalipto e Pinus. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. da; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. de, eds. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.393-424.
- GUPTA, S.K. & CHEN, K.Y. Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of nearshore sediments. *Environ. Lett.*, 10:129-156, 1975.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.*, 31:273-307, 1979.
- HAAG, H.P.; DECHEN, A.R. & CARMELLO, Q.A. de. Essências Florestais. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.683-734.
- HALDAR, M. & MANDAL, L.N. Effect of P and Zn on the growth and P, Zn, Cu, Fe and Mn nutrition rice. *Plant Soil*, 59: 415-420, 1981.
- HAQ, A.U. & MILLER, M.H. Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. *Agron. J.*, 64: 779-782, 1972.
- HOPMANS, P.; STEWART, H.T.L.; & FLIN, D.W. Impacts of harvesting on nutrients in a eucalypt ecosystem in southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 59: 29-51, 1993.
- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona Litoral-Mata. *Pesq. Agrop. Bras.*, 11:27-35, 1976 (Série Agronomia).

- HOU, J.; EVANS, L.J. & SPIERS, G.A. Boron fractionation in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:1841-1855, 1994.
- HOU, J.; EVANS, L.J. & SPIERS, G.A. Chemical fractionation of soil boron: 1. Method development. *Can. J. Soil Sci.*, 76:485-491, 1996.
- IYENGAR, S.S.; MARTENS, D.C. & MILLER, W.P. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:735-739, 1981.
- JACKSON, M.L. *Análisis químico de suelos*. Barcelona, Ediciones Omega, 1976. 662p.
- JARVIS, S.C. Copper sorption by soils at low concentration and relation to uptake by plants. *J. Soil Sci.*, 32:257-269, 1981.
- JENNE, E.A. Controls of Mn, Fe, Co, Ni, Cu e Zn concentrations in soils and water: The significant role of hydrous Mn and Fe oxides. In: GOULD, R.F., ed. *Trace inorganics in water*. *Adv. Chem. Ser.*, 73:337-387, 1968.
- JIN, J.; MARTENS, D.C. & ZELAZNY, L.W. Distribution and plant availability of soil boron fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1228-1231, 1987.
- KALBASI, M.; RACZ, G.J. & LOEWEN-RUDGERS, L.A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. *Soil Sci.*, 125:146-150, 1978.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soil. *Clays Clay Min.*, 30:401-408, 1982.
- KINNIBURGH, D.G. & JACKSON, M.L. Concentration and pH dependence of calcium and zinc adsorption by iron hydrous oxide gel. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982.
- KINNIBURGH, D.G. The  $H^+/M^{2+}$  exchange stoichiometry of calcium and zinc adsorption by ferrihydrite. *J. Soil Sci.*, 34:759-768, 1983.
- KUO, S.; HEILMAN, P.E. & BAKER, A.S. Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron and manganese in soils near a copper smelter. *Soil Sci.*, 135:101-109, 1983.
- LAKE, D.L.; KIRK, P.W.W. & LESTER, J.N. Fractionation, characterization, and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge-amended soils: a review. *J. Environ. Qual.*, 13:175-183, 1984.
- LANTMANN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:131-135, 1982.
- LEITE, F.P. *Relações nutricionais e alterações de características químicas de solos da região do Vale do Rio Doce pelo cultivo do eucalipto*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 72p. (Tese de Doutorado)

- LeRICHE, H.H. & WEIR, A.H. A method of studying trace elements in soil fractions. *J. Soil Sci.*, 14:225-235, 1963.
- LEVESQUE, M.P. & MATHUR, S.P. Soil tests for copper, iron, manganese, and zinc in histosols: 1. The influence of soil properties, iron, manganese, and zinc on the level and distribution of copper. *Soil Sci.*, 142:153-162, 1986.
- LINDAU, C.W. & HOSSNER, L.R. Sediment fractionation of Cu, Ni, Zn, Cr, Mn and Fe in one experimental and three natural marshes. *J. Environ. Qual.*, 11:540-545, 1982.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 42:421-428, 1978.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2. ed. Madison, SSSA, 1991. p.89-144 (SSSA Book Series, 4).
- LION, L.W.; ALTMANN, R.S. & LECKIE, J.O. Trace-metal adsorption characteristics of estuarine particulate matter: evaluation of contribution of Fe/Mn oxide and organic surface coatings. *Environ. Sci. Technol.*, 16:660-666, 1982.
- LOGANATHAN, P.; BURAU, R.G. & FUERSTENAU, D.W. Influence of pH on  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  by adsorption a hydrous manganese oxide. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:57-62, 1977.
- LOPES, A.S. & ABREU, C.A. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. *Top. Ci. Solo*, 1:265-298, 2000.
- LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS, 1984. 162p.
- MACEDO, R.L.G.; SOARES, R.V. & SOARES, A.R. “Status” nutricional de *eucalyptus* (na fase juvenil) introduzidos na Baixada Cuiabana, MT. *Cerne*, 2: 106-118, 1996.
- MAHLER, R.L.; HAMMEL, J.E. & HARDER, R.W. The influence of crops retention and tillage methods on the distribution of extractable boron in Northern Idaho soil. *Soil Sci.*, 139:67-73, 1985.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E. & PAULINO, V.T. Micronutrientes - uma visão geral. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.1-23.

- MANDAL, L.N. & MANDAL, B. Zinc fractions in soils in relation to zinc nutrition of lowland rice. *Soil Sci.*, 142:141-148, 1986.
- MARINHO, H.L. & IGUE, K. Influência do fósforo e sesquióxidos livres na absorção de  $^{65}\text{Zn}$  por milho em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Vitória, 1971. Anais. Rio de Janeiro, SBCS, 1973. p.158-159.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARSCHNER, H. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. *Field Crops Res.*, 56:203-207, 1998.
- MARSCHNER, H. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds. The plant root, the hidden half. New York, Marcel Dekker, 1991. p.503-528.
- MARTENS, D.S. & WESTERMANN, D.T. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. Micronutrients in agriculture. 2. ed. Madison, SSSA, 1991. p.549-591 (SSSA Book Series, 4).
- MAZUR, N. Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam compostos de resíduos sólidos urbanos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 129p. (Tese de Doutorado)
- McBRIDE, M.B. & BLASIAK, J.J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:866-870, 1979.
- McLAREN, R.G. & CRAWFORD, D.V. Studies on soil copper: I. The fractionation of copper in soils. *J. Soil Sci.*, 24:172-181, 1973a.
- McLAREN, R.G. & CRAWFORD, D.V. Studies on soil copper: II. The specific adsorption of copper by soils. *J. Soil Sci.*, 24:443-452, 1973b.
- McLAREN, R.G.; SWIFT, R.S. & WILLIAMS, J.G. The adsorption of copper by soil materials at low equilibrium solution concentrations. *J. Soil Sci.*, 32:247-256, 1981.
- McLAREN, R.G.; WILLIAMS, J.G. & SWIFT, R.S. Some observations on the adsorption and distribution behavior of copper with soil components. *J. Soil Sci.*, 34:325-331, 1983.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:1409-1416, 1984.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium carbonate. *Clays and Clay Miner.*, 7:317-327, 1960.

- MELLO, F. de A.F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de. O.C. do; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETO, A. & KIEHL, J. de C. Fertilidade do solo. 3. ed. São Paulo, Nobel, 1989. 400p.
- MELO, V. de F. Relação entre a reserva mineral de solos e a produção e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith, no Rio Grande do Sul. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1994. 145p. (Tese de Mestrado)
- MENEZES, A.A. Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 52p. (Tese de Mestrado)
- MILLER, W.P. & McFEE, W.W. Distribution of cadmium, zinc, copper and lead in soils of industrial northwestern Indiana. J. Environ. Qual., 12:29-33, 1983.
- MILLER, W.P.; MARTENS, D.C. & ZELAZNY, L.W. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 50:598-601, 1986.
- NASCIMENTO, C.W.A. Dessorção, extração e fracionamento de zinco, cobre e manganês em solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 60p. (Tese de Doutorado)
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Rio de Janeiro, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- NIELSEN, D.; HOYT, P.B. & MacKENZIE, A.F. Measurement of plant-available in British Columbia orchard soils. Comun. Soil Sci. Plant Anal., 18: 161-186, 1987.
- NOVAIS, R.F. de; NEVES, J.C.N. & BARROS, N.F. de. Ensaio em ambiente controlado. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, ed. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, EMBRAPA, MARA, 1991. p.189-253.
- NOVAIS, R.F. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soil. Raleigh, North Carolina State University, 1977. 153 p. (Ph.D. Thesis)
- OKAZAKI, M.; TAKAMIDOH, K. & YAMANE, I. Adsorption of heavy metal cations on hydrated oxides and oxides of iron and aluminum with different crystallinities. Soil Sci. Plant Nut., 3:523-533, 1986.
- OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2. ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

- OLIVEIRA, M.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; VASCONCELOS, C.A. & ALVES, V.M. Relação entre o zinco “disponível”, por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. R. Bras. Ci. Solo, 23:827-836, 1999.
- OLYKAN, S.T.; ADAMS, J.A. & NORDMEYER, A.H. Micronutrient and micronutrient uptake by *Pinus radiata*, and soil boron fractions, as affected by added nitrogen and boron. New Zeland Journal of Forestry Science, 25: 61-72, 1995.
- OZINGA, W.A.; ANDEL, J. van & McDONNELL-ALEXANDER, M.P. Nutritional soil heterogeneity and mycorrhiza as determinants of plant species diversity. Acta Bot. Neerl., 46:237-254, 1997.
- PADMANABHAN, M. Adsorption-desorption behavior of copper (II) at the goethite-solution interface. Aust. J. Soil Sci., 21:309-320, 1983.
- POMBO, L.C.A. & KLAMT, E. Adsorção de zinco e cobre de dois solos do Estado do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 10:191-194, 1986.
- RAIJ, B. van & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.333-356.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. 2.ed. Piracicaba, Ceres, POTAFOS, 1991b. 343p.
- RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991a. p. 99-111.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C.F., eds. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia de argila de latossolos estimadas por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. R. Bras. Ci. Solo, 11: 11-23, 1987.
- RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e Fertilidade do Solo: interações e aplicações. Brasília, Ministério da Educação; Lavras, ESAL; Piracicaba, POTAFOS, 1988. 81p.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO SARAIBA, W.A.T. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 8:85-89, 1984.
- RIBEIRO, A.C. Adsorção de boro pelo solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 38p. (Tese de Mestrado)

- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21: 215-255, 1986.
- SANDERS, J.K. The effects do pH on the total and free ionic concentrations of manganese, zinc, and cobalt in soil solutions. *J. Soil. Sci.*, 34:315-323, 1983.
- SANDERS, J.K. The effects of pH upon the copper and cupric ion concentrations in soil solutions. *J. Soil Sci.*, 33: 679-689, 1982.
- SANTOS, A.R. Caracterização mineralogical e avaliação da reserva mineral de alguns nutrientes, em solos sob eucalipto, da região do Vale do Rio Doce. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 97p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, H.L. dos.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & CHAVES, J.R.P. Efeito do zinco, boro, molibdênio e calagem na produção de soja-perene (*Glycine javanica* L.) cultivada em solos de cerrado, em condições de casa de vegetação. *R. Ceres*, 27:99-111, 1980.
- SHUMAN, L.M. & ANDERSON, O.E. Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentrations in wheat and soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:788-790, 1974.
- SHUMAN, L.M. Chemical forms of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2. ed. Madison, SSSA, 1991.p.113-144 (SSSA Book Series, no. 4).
- SHUMAN, L.M. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron and zinc among soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1236-1240, 1986.
- SHUMAN, L.M. Effects of soil temperature, moisture and air-drying on extractable manganese, iron, copper and zinc. *Soil Sci.*, 130:336-343, 1980.
- SHUMAN, L.M. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci.*, 140:11-22, 1985.
- SHUMAN, L.M. Separating soil iron- and manganese-oxide fractions for microelement analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1099-1102, 1982.
- SHUMAN, L.M. Zinc adsorption isotherms for soil clays with and without iron oxides removed. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:349-352, 1976.
- SHUMAN, L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions. *Soil Sci.*, 127:10-17, 1979.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; KRUGNER, T.L. & SILVEIRA, R.I. Efeito do boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodiplodia theobromaiae*. *Fitop. Bras.*, 21:482-485, 1996.

- SIMS, J.L. & PATRICK, W.H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions varying redox potential and pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:258-262, 1978.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. III: Iron and aluminum coated layer silicates and soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:369-373, 1968b.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. I: Layer silicates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:728-732, 1967.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. II: Sesquioxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:364-369, 1968a.
- SIMS, J.T. & JOHNSON, G.V. Micronutrient soil tests. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2. ed. Madison, SSSA, 1991. p.427-476. (SSSA Book Series, no. 4)
- SIMS, J.T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, iron and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 367-373, 1986.
- SINGH, N.T. & MONGIA, A.D. Distribution of Zn, Cu, Mn e Fe in soils of Andaman and Nicobar Islands. *Agrochimica*, 37:18-25, 1993.
- SOUZA, E.C.A. de & FERREIRA, M.E. Zinco. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C. da, eds. *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p.219-242.
- SRIVASTAVA, P.C. & GUPTA, U.C. Trace elements in crop production. Lebanon, Science Publishers, 1996. 356p.
- STEVENSON, F.J. *Húmus chemistry: genesis, composition, reations*. New York, John Wiley & Sons, 1982. 443p.
- STEVENSON, F.J. Organic matter-micronutrient reactions in soil. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2. ed. Madison, SSSA, 1991. p.145-186. (SSSA Book Series, no. 4)
- TESSIER, A.; CAMPHELL, P.G.C.& BISSON, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51:844-851, 1979.
- TSADILAS, C.D.; YASSOGLU, N.; KOSMAS, C.S. & KALLIANOU, C. The availability of soil boron fraction to olive tree and barley and their relationships to soil properties. *Plant and Soil*, 162:211-217, 1994.

- VALADARES, J.M.A.S. & CAMARGO, O.A. Manganês em solos do Estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 7:123-130, 1983.
- VALADARES, J.M.A.S. & CATANI, R.A. Zinco em solos do Estado de São Paulo. I. Zinco total. Bragantia, 34:133-139, 1975.
- VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo I. Cobre total. Bragantia, 34:125-132, 1975.
- VANDERLEY, J.C. Boro em materiais de três solos do município de Lavras, Estado de Minas Gerais. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1984. 96p. (Tese de Mestrado)
- VETTORI, L. Métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- XIANG, H.F.; TANG, H.A. & YING, Q.H. Transformation and distribution of forms of zinc in acid, neutral and calcareous soils of China. Geoderma, 66:121-135, 1995.

## **APÊNDICES**

**Quadro 1A. Teores disponíveis de B (por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L) e de Cu, Fe, Mn e Zn (por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1), em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados antes do primeiro cultivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,28 B	0,23 B	0,21 B	0,29 B	0,16 B	0,15 B	0,14 B	0,21 B	0,39 B	0,29 BC	0,15 B	0,36 B	0,26 B	0,23 B	0,24 B
+B	0,42 A	0,35 A	0,36 A	0,41 A	0,34 A	0,30 A	0,30 A	0,37 A	0,59 A	0,37 AB	0,31 A	0,52 A	0,46 A	0,37 A	0,39 A
+Cu	0,27 B	0,21 B	0,22 B	0,29 B	0,17 B	0,15 B	0,12 B	0,20 B	0,39 B	0,28 BC	0,17 B	0,30 B	0,30 B	0,23 B	0,23 B
+Fe	0,27 B	0,19 B	0,22 B	0,31 B	0,14 B	0,13 B	0,14 B	0,21 B	0,40 B	0,29 BC	0,18 B	0,30 B	0,31 B	0,22 B	0,23 B
+Mn	0,25 B	0,22 B	0,22 B	0,27 B	0,14 B	0,14 B	0,12 B	0,20 B	0,39 B	0,29 BC	0,17 B	0,30 B	0,30 B	0,23 B	0,23 B
+Zn	0,26 B	0,18 B	0,20 B	0,29 B	0,14 B	0,13 B	0,13 B	0,19 B	0,38 B	0,26 C	0,19 B	0,34 B	0,30 B	0,23 B	0,23 B
+M	0,39 A	0,36 A	0,33 A	0,42 A	0,29 A	0,29 A	0,32 A	0,31 A	0,53 A	0,42 A	0,34 A	0,51 A	0,45 A	0,42 A	0,38 A
Média	0,30 cd	0,25 ef	0,25 ef	0,33 c	0,20 g	0,18 g	0,18 g	0,24 ef	0,44 a	0,31 cd	0,21 fg	0,37 b	0,34 bc	0,27 de	0,27
----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,49 B	0,53 BC	0,24 B	0,24 B	0,52 B	0,48 C	2,07 B	0,36 B	0,69 B	0,94 B	0,34 B	0,51 B	0,87 B	5,29 BC	0,75 BC
+B	0,47 B	0,37 C	0,27 B	0,23 B	0,52 B	0,45 C	2,13 B	0,37 B	0,66 B	1,06 B	0,32 B	0,57 B	1,01 B	5,17 C	0,75 BC
+Cu	1,09 A	0,91 A	0,85 A	0,61 A	1,04 A	1,07 B	2,94 A	0,67 A	1,36 A	1,83 A	0,75 A	1,05 A	1,50 A	5,98 AB	1,33 A
+Fe	0,54 B	0,70 B	0,31 B	0,21 B	0,48 B	0,46 C	2,27 B	0,36 B	0,64 B	1,11 B	0,37 B	0,58 B	0,97 B	5,27 BC	0,80 B
+Mn	0,40 B	0,43 C	0,18 B	0,26 B	0,53 B	0,44 C	2,05 B	0,37 B	0,68 B	1,09 B	0,27 B	0,51 B	0,95 B	5,20 C	0,73 C
+Zn	0,45 B	0,40 C	0,21 B	0,20 B	0,48 B	0,43 C	2,08 B	0,36 B	0,68 B	1,08 B	0,27 B	0,53 B	0,87 B	5,28 BC	0,73 C
+M	1,03 A	1,03 A	0,74 A	0,61 A	1,23 A	1,34 A	2,89 A	0,80 A	1,21 A	1,60 A	0,65 A	1,02 A	1,49 A	6,15 A	1,33 A
Média	0,62 f	0,61 f	0,38 hi	0,33 i	0,66 f	0,63 f	2,33 b	0,46 g	0,83 e	1,22 c	0,41 gh	0,67 f	1,08 d	5,47 a	0,90
----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	53,84 AB	48,10 C	47,55 C	47,33 B	35,62 B	24,83 B	13,43 C	36,77 B	51,28 B	69,60 C	38,01 AB	69,49 A	39,56 C	18,70 B	38,95 B
+B	54,36 AB	50,15 BC	46,05 C	47,87 B	34,22 B	23,64 B	13,75 BC	36,23 B	53,37 B	70,61 C	34,08 B	70,96 A	36,77 C	17,61 B	38,36 B
+Cu	53,71 B	46,15 C	46,68 C	47,05 B	35,44 B	23,41 B	12,38 C	36,04 B	53,09 B	77,49 ABC	34,65 B	72,98 A	41,66 BC	16,14 B	38,35 B
+Fe	65,02 A	58,70 AB	58,44 AB	61,18 A	45,59 A	31,36 A	17,45 A	44,55 A	65,06 A	91,16 AB	45,71 A	80,67 A	50,75 A	25,00 A	48,80 A
+Mn	55,12 AB	51,08 BC	49,00 BC	47,08 B	36,14 B	25,07 B	13,30 C	35,89 B	52,60 B	77,50 ABC	32,68 B	71,54 A	38,35 C	17,94 B	39,07 B
+Zn	52,94 B	47,73 C	46,91 C	46,95 B	36,82 B	23,29 B	13,99 BC	34,28 B	53,71 B	75,74 BC	37,83 AB	76,10 A	38,63 C	17,37 B	39,00 B
+M	62,52 AB	62,69 A	59,92 A	58,80 A	45,89 A	34,08 A	16,64 AB	46,57 A	65,04 A	91,50 A	45,69 A	81,39 A	48,35 AB	22,88 A	48,72 A
Média	56,62 b	51,79 cd	50,38 d	50,59 d	38,28 f	26,26 g	14,33 i	38,38 f	56,05 bc	78,67 a	38,08 f	74,61 a	41,74 e	19,17 h	41,38

**Quadro 1A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,57 B	0,89 B	2,93 C	1,52 B	2,04 B	3,76 B	90,68 AB	0,73 B	2,27 B	1,64 B	0,95 B	2,00 B	9,12 BC	17,69 A	3,26 B
+B	0,47 B	0,82 B	2,62 C	1,43 B	1,79 B	3,98 B	86,48 B	0,65 B	2,22 B	1,55 B	0,87 B	1,97 B	7,76 C	18,99 A	3,10 B
+Cu	0,44 B	0,87 B	2,52 C	1,39 B	2,05 B	3,88 B	84,87 B	0,52 B	2,11 B	1,59 B	0,74 B	1,96 B	9,34 BC	17,52 A	3,08 B
+Fe	0,47 B	0,82 B	2,77 C	1,57 B	1,67 B	4,08 B	94,61 AB	0,53 B	2,16 B	2,19 B	0,80 B	1,99 B	9,82 BC	15,95 A	3,19 B
+Mn	2,47 A	3,04 A	4,84 B	3,54 A	3,57 A	5,89 A	102,84AB	2,06 A	4,07 A	4,05 A	2,41 A	3,53 A	13,92 A	20,63 A	5,82 A
+Zn	0,67 B	1,08 B	2,04 C	1,66 B	1,56 B	4,12 B	92,81 AB	0,63 B	2,47 B	1,97 B	0,97 B	2,38 B	10,49 B	16,68 A	3,32 B
+M	2,61 A	3,23 A	6,85 A	3,66 A	3,79 A	6,50 A	115,69A	2,39 A	4,21 A	3,77 A	2,31 A	4,02 A	14,48 A	19,85 A	6,23 A
Média	0,94 j	1,37 i	3,28 e	1,99 h	2,25 gh	4,52 d	94,95 a	0,96 j	2,70 f	2,27 gh	1,21 i	2,47 fg	10,48 c	18,12 b	3,85
----- Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	1,94 B	0,60 B	0,46 B	0,20 B	1,01 B	0,41 B	1,16 C	0,28 B	0,21 B	0,33 B	0,17 B	0,16 B	0,30 B	0,19 B	0,47 B
+B	2,13 B	0,57 B	0,33 B	0,19 B	0,93 B	0,41 B	1,06 C	0,18 B	0,23 B	0,33 B	0,18 B	0,16 B	0,31 B	0,23 B	0,45 B
+Cu	1,98 B	0,69 B	0,27 B	0,19 B	1,05 B	0,43 B	1,05 C	0,17 B	0,18 B	0,31 B	0,13 B	0,14 B	0,46 B	0,23 B	0,46 B
+Fe	1,95 B	0,67 B	0,27 B	0,24 B	0,95 B	0,40 B	1,29 C	0,16 B	0,16 B	0,28 B	0,16 B	0,10 B	0,28 B	0,23 B	0,44 B
+Mn	2,17 B	0,80 B	0,24 B	0,23 B	0,86 B	0,43 B	1,19 C	0,16 B	0,29 B	0,32 B	0,18 B	0,18 B	0,34 B	0,27 B	0,48 B
+Zn	4,08 A	2,86 A	1,87 A	1,76 A	3,50 A	1,97 A	3,71 A	1,26 A	1,54 A	1,57 A	1,08 A	1,55 A	1,11 A	1,50 A	1,96 A
+M	4,45 A	3,06 A	2,23 A	1,84 A	3,73 A	2,36 A	2,54 B	1,05 A	1,50 A	1,67 A	1,21 A	1,61 A	1,08 A	1,42 A	1,99 A
Média	2,55 a	1,13 c	0,67 de	0,54 efg	1,50 b	0,78 d	1,58 b	0,41 gh	0,49 fgh	0,60 ef	0,38 h	0,45 gh	0,52 efg	0,50 fgh	0,79
----- Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,43 BC	0,00 B	2,44 B	0,00 A	0,13 B	0,46 B	0,00 A	0,05 B	0,06 B	6,62 C	0,35 B
+B	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,60 B	0,00 B	2,37 B	0,00 A	0,12 B	0,46 B	0,00 A	0,13 B	0,07 B	6,70 C	0,37 B
+Cu	0,81 A	0,99 A	0,56 A	0,40 A	2,06 A	0,98 A	3,56 A	0,04 A	0,78 A	1,18 A	0,12 A	0,59 A	0,44 A	7,93 AB	1,03 A
+Fe	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,37 C	0,00 B	2,44 B	0,00 A	0,16 B	0,46 B	0,00 A	0,05 B	0,11 B	6,72 C	0,36 B
+Mn	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,44 BC	0,00 B	2,59 B	0,00 A	0,17 B	0,57 B	0,00 A	0,06 B	0,07 B	6,88 BC	0,37 B
+Zn	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,00 B	0,39 C	0,00 B	2,34 B	0,00 A	0,14 B	0,56 B	0,00 A	0,03 B	0,10 B	6,82 C	0,36 B
+M	0,69 A	0,99 A	0,56 A	0,46 A	1,88 A	1,13 A	3,65A	0,05 A	0,72 A	0,95 A	0,10 A	0,61 A	0,33 A	8,12 A	1,00 A
Média	0,17 fg	0,22 f	0,14 gh	0,11 h	0,78 c	0,23 ef	2,73 b	0,01 i	0,29 e	0,64 d	0,03 i	0,19 fg	0,16 fgh	7,09 a	0,52

**Quadro 1A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	86,41 A	98,66 A	118,87 A	112,28 A	150,64 A	43,01 BC	18,05ABC	72,60 A	70,93 A	43,75 A	31,09 B	83,45 A	25,37 BC	34,55 AB	59,62 B
+B	88,46 A	103,65 A	124,02 A	114,72 A	143,04 A	42,88 BC	17,03C	77,89 A	70,29 A	41,73 A	31,54 B	88,58 A	23,33 C	35,86 AB	59,92 B
+Cu	83,58 A	104,02 A	124,52 A	112,05 A	152,80 A	42,58 BC	17,09C	74,31 A	72,10 A	42,90 A	31,93 B	88,33 A	24,45 C	33,15 B	59,81 B
+Fe	91,82 A	113,13 A	129,74 A	124,88 A	161,41 A	55,09 A	22,09A	84,42 A	77,13 A	49,33 A	37,94 AB	95,66 A	30,71 AB	41,30 A	68,57 A
+Mn	81,87 A	100,92 A	122,29 A	114,11 A	155,49 A	43,22 BC	17,80BC	74,82 A	71,99 A	42,73 A	32,21 B	88,64 A	24,39 C	35,28 AB	60,20 B
+Zn	81,91 A	104,22 A	121,51 A	112,15 A	147,31 A	39,19 C	17,41C	76,38 A	69,99 A	43,72 A	34,11 AB	88,32 A	24,00 C	35,95 AB	59,81 B
+M	94,64 A	110,38 A	133,33 A	125,35 A	159,56 A	48,27 AB	21,48AB	87,77 A	76,51 A	47,94 A	39,78 A	100,97 A	31,07 A	40,44 AB	68,37 A
Média	86,84 d	104,89 c	124,81 b	116,38 b	152,77 a	44,65 f	18,61 i	78,15 e	72,66 e	44,51 f	33,95 g	90,41 d	26,03 h	36,54 g	62,21
----- Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,32 B	1,06 B	3,53 B	1,96 B	2,88 B	7,56 B	103,15 A	0,89 B	3,59 B	2,80 B	1,13 B	3,64 B	23,66 C	37,80 BC	4,71 B
+B	0,29 B	1,17 B	3,52 B	1,83 B	2,83 B	7,70 B	100,71 A	0,88 B	3,71 B	2,64 B	1,01 B	3,96 B	22,06 C	40,74 ABC	4,69 B
+Cu	0,28 B	1,17 B	3,44 B	1,81 B	2,93 B	7,59 B	103,14 A	0,81 B	3,63 B	2,63 B	0,97 B	3,66 B	23,66 C	34,78 C	4,60 B
+Fe	0,29 B	1,17 B	3,53 B	1,92 B	2,88 B	7,94 B	104,80 A	0,79 B	3,71 B	2,95 B	1,06 B	3,85 B	25,84 ABC	39,44 ABC	4,80 B
+Mn	2,65 A	3,81 A	5,51 A	4,26 A	5,46 A	10,38 A	114,45 A	2,68 A	6,03 A	4,86 A	3,25 A	6,56 A	29,85 AB	47,66 A	8,32 A
+Zn	0,32 B	1,22 B	3,53 B	1,87 B	2,91 B	7,70 B	103,85 A	0,87 B	3,73 B	2,86 B	1,05 B	4,20 B	24,29 BC	39,76 ABC	4,82 B
+M	2,79 A	3,97 A	5,98 A	4,45 A	5,74 A	10,34 A	109,95 A	2,99 A	6,20 A	4,94 A	3,14 A	6,95 A	31,02 A	45,15 AB	8,52 A
Média	0,76 k	1,73 i	4,06 f	2,44 h	3,52 g	8,39 d	105,63 a	1,28 j	4,27 ef	3,29 g	1,51 i	4,55 e	25,59 c	40,57 b	5,60
----- Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	10,49 C	5,92 B	2,19 B	2,65 B	7,39 BC	3,71 B	8,31 B	4,46 B	2,20 B	3,87 B	2,15 B	1,86 B	4,41 B	2,22 B	3,90 B
+B	12,25 BC	5,12 B	1,90 B	2,23 B	8,54 B	4,27 B	8,10 B	4,32 B	2,15 B	3,96 B	1,95 BC	1,16 C	4,12 B	2,62 B	3,80 BC
+Cu	11,65 C	5,88 B	1,85 B	1,88 B	6,62 BC	3,58 B	8,26 B	3,62 B	2,09 B	3,94 B	1,47 C	1,57 BC	3,92 B	2,44 B	3,57 C
+Fe	11,36 C	5,31 B	1,90 B	2,27 B	6,88 BC	3,47 B	8,68 B	3,78 B	2,45 B	3,35 B	1,50 BC	1,18 C	3,91 B	2,08 B	3,52 C
+Mn	11,38 C	6,30 A	1,95 B	2,40 B	6,11 C	3,94 B	8,53 B	4,22 B	2,12 B	4,09 B	1,80 BC	1,35 BC	3,86 B	2,66 B	3,75 BC
+Zn	15,50 AB	12,30 A	9,56 A	10,13 A	13,01 A	11,17 A	13,83 A	10,99 A	10,20 A	11,06 A	9,42 A	10,18 A	10,79 A	10,27 A	11,21 A
+M	16,72 A	12,76	10,15 A	10,40 A	13,26 A	11,08 A	14,20 A	11,21 A	10,53 A	11,30 A	9,53 A	10,42 A	10,91 A	10,43 A	11,51 A
Média	12,60 a	7,18 d	3,29 gh	3,66 fg	8,47 c	5,24 e	9,72 b	5,50 e	3,59 fg	5,30 e	3,04 hi	2,75 i	5,43 e	3,79 f	5,20

<sup>(1)</sup> Solo: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU- Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 2A. Teores disponíveis de B (por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L) e de Cu, Fe, Mn e Zn (por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1), em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados após o primeiro cultivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,19C	0,18 B	0,15 B	0,23 B	0,13 B	0,15 B	0,10 BC	0,17 B	0,30 B	0,21 B	0,13 BC	0,25 C	0,21 C	0,13 B	0,18 B
+B	0,35A	0,30 A	0,29 A	0,36 A	0,26 A	0,28 A	0,19 A	0,29 A	0,44 A	0,36 A	0,27 A	0,39 AB	0,31 AB	0,26 A	0,31 A
+Cu	0,22BC	0,17 B	0,17 B	0,22 B	0,13 B	0,14 B	0,07 C	0,14 B	0,32 B	0,21 B	0,14 BC	0,27 C	0,19 C	0,12 B	0,18 B
+Fe	0,21BC	0,17 B	0,17 B	0,20 B	0,12 B	0,13 B	0,07 C	0,15 B	0,29 B	0,23 B	0,12 C	0,30 BC	0,19 C	0,13 B	0,18 B
+Mn	0,21BC	0,16 B	0,17 B	0,22 B	0,13 B	0,13 B	0,11 ABC	0,16 B	0,30 B	0,22 B	0,13 C	0,32 ABC	0,22 BC	0,13 B	0,18 B
+Zn	0,27ABC	0,16 B	0,16 B	0,19 B	0,14 B	0,13 B	0,12 ABC	0,16 B	0,30 B	0,23 B	0,11 C	0,29 C	0,20 C	0,12 B	0,18 B
+M	0,29AB	0,29 A	0,31 A	0,32 A	0,28 A	0,26 A	0,18 AB	0,31 A	0,45 A	0,33 A	0,22 AB	0,40 A	0,33 A	0,27 A	0,30 A
Média	0,25 b	0,20 cd	0,20 cd	0,25 b	0,17 def	0,17 def	0,12 b	0,20 cde	0,34 a	0,25 b	0,16 f	0,32 a	0,23 bc	0,16 ef	0,21
----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,66 B	0,45 B	0,21 B	0,36 C	0,54 B	0,43 B	2,14 B	0,54 BC	0,77 B	0,87 B	0,45 BC	0,49 B	0,75 B	4,67 C	0,77 B
+B	0,66 B	0,39 B	0,27 B	0,38 C	0,55 B	0,44 B	2,13 B	0,53 BC	0,79 B	0,92 B	0,36 C	0,52 B	0,89 B	4,80 BC	0,79 B
+Cu	1,11 A	0,96 A	0,64 A	0,91 A	1,10 A	0,97 A	2,95 A	0,69 AB	1,25 A	1,42 A	0,70 A	0,91 A	1,25 A	5,39 AB	1,26 A
+Fe	0,56 BC	0,43 B	0,28 B	0,32 C	0,51 B	0,48 B	2,14 B	0,50 C	0,77 B	0,94 B	0,31 C	0,47 B	0,85 B	4,84 BC	0,76 B
+Mn	0,48 C	0,40 B	0,29 B	0,37 C	0,52 B	0,53 B	2,16 B	0,52 BC	0,78 B	0,90 B	0,39 C	0,56 B	0,84 B	4,76 BC	0,78 B
+Zn	0,68 B	0,48 B	0,25 B	0,37 C	0,49 B	0,45 B	2,22 B	0,50 C	0,78 B	0,96 B	0,33 C	0,58 B	0,82 B	4,89 BC	0,79 B
+M	0,91 A	0,96 A	0,79 A	0,66 B	1,14 A	1,02 A	3,26 A	0,76 A	1,17 A	1,44 A	0,57 AB	0,98 A	1,29 A	5,60 A	1,26 A
Média	0,71 e	0,56 g	0,38 i	0,47 h	0,67 ef	0,60 fg	2,40 b	0,57 g	0,89 d	1,05 c	0,44 hi	0,63 efg	0,95 d	4,98 a	0,90
----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	69,91 AB	63,52 AB	53,79 ABC	58,77 AB	45,00 B	28,79 B	17,61ABC	33,20 C	49,30 C	61,34 A	32,43 BC	64,92 B	40,59 AB	20,87 B	42,33 B
+B	69,03 AB	60,90 AB	51,73 C	50,53 BC	47,74 AB	26,97 B	16,21C	34,10 C	48,79 C	65,45 A	29,36 C	67,81 AB	38,50 B	19,46 B	41,06 B
+Cu	67,96 AB	62,79 AB	52,27 BC	48,50 C	48,29 AB	27,62 B	15,99C	33,74 C	51,08 BC	60,34 A	29,58 C	67,42 AB	37,61 B	18,54 B	40,74 B
+Fe	76,22 A	72,59 A	64,07 A	62,24 A	55,28 A	40,63 A	19,97AB	41,38 AB	62,16 A	72,56 A	41,74 A	78,86 A	46,86 A	26,22 A	50,82 A
+Mn	68,33 AB	62,04 AB	50,62 C	54,94 ABC	45,43 B	28,39 B	16,24C	32,44 C	48,99 C	62,78 A	31,07 C	70,16 AB	38,17 B	20,21 B	41,37 B
+Zn	62,89 B	58,61 B	53,94 ABC	53,87 ABC	43,69 B	27,93 B	16,44BC	34,25 BC	51,57 ABC	61,05 A	29,32 C	69,13 AB	38,84 AB	19,40 B	40,90 B
+M	77,84 A	68,41 AB	62,63 AB	64,05 A	56,50 A	39,58 A	20,17 <sup>a</sup>	41,73 A	60,90 A	70,38 A	38,61 AB	79,14 A	46,97 A	27,14 A	50,43 A
Média	70,15 a	63,98 b	55,36 c	55,88 c	48,63 d	30,99 g	17,45 i	35,66 f	53,01 c	64,69 b	32,87 fg	70,88 a	40,91 e	21,47 h	43,76

**Quadro 2A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,64 B	1,23 B	3,97 B	1,97 B	1,95 B	6,00 C	87,81 AB	1,04 B	3,81 B	3,78 B	1,24 B	3,62 B	14,40 AB	38,61 B	4,59 B
+B	0,56 B	1,18 B	3,73 B	1,43 B	1,72 B	6,29 C	91,70 AB	0,94 B	3,88 B	3,00 B	1,21 B	3,46 B	12,94 B	41,99 B	4,36 B
+Cu	0,61 B	1,44 B	4,12 B	1,54 B	1,82 B	5,62 C	95,46 AB	0,80 B	3,53 B	2,99 B	1,22 B	3,50 B	13,62 B	39,84 B	4,40 B
+Fe	0,76 B	1,50 B	4,13 B	1,75 B	2,12 B	6,61 C	84,28 B	0,93 B	3,65 B	3,66 B	1,27 B	3,57 B	13,16 B	42,54 B	4,65 B
+Mn	3,69 A	4,37 A	7,37 A	4,12 A	4,39 A	9,04 AB	111,69A	3,49 A	6,43 A	6,10 A	4,08 A	6,83 A	16,06 AB	47,95 AB	8,54 A
+Zn	0,74 B	1,41 B	4,12 B	1,68 B	2,07 B	6,93 BC	98,36AB	0,98 B	3,79 B	2,97 B	1,44 B	3,49 B	13,55 B	42,13 B	4,68 B
+M	4,42 A	4,53 A	7,56 A	4,21 A	5,00 A	9,53 A	102,26AB	3,68 A	6,55 A	6,06 A	4,06 A	6,60 A	18,71 A	55,78 A	8,95 A
Média	1,28 j	1,99 hi	4,82 e	2,22 gh	2,54 g	7,03 d	95,56 a	1,48 j	4,39 ef	3,93 f	1,86 i	4,27 ef	14,53 c	43,81 b	5,50
----- Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	2,14 C	0,99 B	0,47 B	0,36 B	1,10 B	0,57 B	1,11 B	0,60 B	0,36 B	0,56 B	0,30 B	0,42 B	0,44 B	0,34 B	0,64 B
+B	2,48 C	0,91 B	0,30 B	0,33 B	1,02 B	0,56 B	1,06 B	0,50 B	0,38 B	0,58 B	0,26 B	0,25 B	0,41 B	0,35 B	0,60 B
+Cu	2,46 C	1,08 B	0,31 B	0,35 B	0,89 B	0,49 B	1,18 B	0,34 B	0,33 B	0,54 B	0,32 B	0,30 B	0,46 B	0,32 B	0,60 B
+Fe	2,25 C	1,02 B	0,39 B	0,34 B	1,14 B	0,53 B	1,00 B	0,36 B	0,36 B	0,57 B	0,27 B	0,26 B	0,38 B	0,33 B	0,59 B
+Mn	2,17 C	1,04 B	0,38 B	0,34 B	0,91 B	0,47 B	1,23 B	0,50 B	0,40 B	0,60 B	0,32 B	0,40 B	0,42 B	0,44 B	0,63 B
+Zn	4,26 B	3,14 A	1,87 A	1,50 A	2,73 A	2,09 A	2,83 A	1,27 A	1,82 A	1,85 A	1,33 A	2,16 A	1,32 A	1,65 A	2,04 A
+M	5,68 A	3,77 A	2,16 A	1,72 A	3,02 A	2,26 A	2,98 A	1,27 A	1,76 A	2,05 A	1,38 A	2,15 A	1,35 A	1,63 A	2,22 A
Média	2,90 a	1,52 b	0,71 cd	0,62 de	1,43 b	0,88 c	1,52 b	0,65 de	0,67 de	0,88 c	0,53 e	0,69 d	0,64 de	0,64 de	0,95
----- Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,30 CD	0,30 B	0,00 B	0,00 B	0,62 B	0,48 B	2,48 B	0,00 B	0,52 B	0,81 B	0,00 B	0,28 B	0,37 B	6,98 C	0,57 B
+B	0,21 CD	0,26 B	0,00 B	0,00 B	0,62 B	0,43 B	2,58 B	0,00 B	0,47 B	0,74 B	0,00 B	0,25 B	0,51 B	6,99 C	0,56 B
+Cu	1,34 A	1,27 A	0,73 A	0,58 A	1,98 A	1,43 A	3,67 A	0,29 A	1,10 A	1,31 A	0,32 A	0,91 A	0,82 A	8,32 A	1,32 A
+Fe	0,37 C	0,34 B	0,00 B	0,00 B	0,58 B	0,50 B	2,56 B	0,00 B	0,45 B	0,69 B	0,00 B	0,32 B	0,33 B	7,10 BC	0,57 B
+Mn	0,20 D	0,39 B	0,00 B	0,00 B	0,67 B	0,50 B	2,53 B	0,00 B	0,39 B	0,69 B	0,00 B	0,29 B	0,38 B	6,86 C	0,56 B
+Zn	0,24 CD	0,29 B	0,00 B	0,00 B	0,57 B	0,40 B	2,62 B	0,00 B	0,40 B	0,67 B	0,00 B	0,25 B	0,38 B	6,80 C	0,53 B
+M	0,94 B	1,32 A	0,78 A	0,59 A	1,94 A	1,43 A	3,52A	0,31 A	1,12 A	1,22 A	0,30 A	0,94 A	0,83 A	8,14 AB	1,29 A
Média	0,47 fg	0,54 ef	0,17 h	0,14 hi	0,92 c	0,69 d	2,83 b	0,08 j	0,61 de	0,86 c	0,08 ij	0,44 g	0,50 fg	7,29 a	0,74

**Quadro 2A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	86,07 A	111,72 A	126,38 A	122,17 A	166,89 A	48,29 AB	19,92 A	79,51 A	81,16 A	50,58 A	36,78 A	101,81 A	26,52 B	40,31 AB	66,43 B
+B	86,27 A	109,64 A	128,16 A	118,84 A	163,69 A	47,43 B	19,12 A	83,08 A	76,06 A	48,71 A	37,75 A	100,64 A	25,56 B	41,29 AB	65,65 B
+Cu	85,34 A	109,79 A	125,49 A	123,20 A	164,07 A	47,28 B	18,88 A	82,68 A	82,81 A	50,41 A	36,93 A	100,99 A	25,30 B	39,96 AB	65,87 B
+Fe	91,09 A	120,41 A	132,34 A	136,86 A	173,43 A	58,66 A	22,57 A	93,86 A	87,98 A	58,95 A	44,66 A	112,89 A	32,81 A	48,28 A	75,16 A
+Mn	84,00 A	109,87 A	123,85 A	127,35 A	166,92 A	47,30 B	19,69 A	82,75 A	79,41 A	49,81 A	37,00 A	101,65 A	26,08 B	41,35 AB	66,26 B
+Zn	84,20 A	109,86 A	125,76 A	132,01 A	161,14 A	46,67 B	20,24 A	85,26 A	77,96 A	49,06 A	37,41 A	104,06 A	25,82 B	39,39 B	66,28 B
+M	91,82 A	118,43 A	131,42 A	141,54 A	174,82 A	55,40 AB	23,06 A	90,13 A	88,15 A	56,27 A	42,63 A	112,49 A	33,06 A	47,30 AB	74,32 A
Média	86,92 d	112,74 c	127,60 b	128,63 b	167,21 a	49,96 e	20,45 i	85,21 d	81,82 d	51,85 e	38,92 g	104,82 c	27,71 h	42,43 f	68,46
----- Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,37 B	0,75 B	2,63 B	1,35 B	1,77 B	5,47 B	59,34 C	0,57 B	2,68 B	2,20 B	0,64 B	2,85 B	16,13 A	27,43 B	3,47 B
+B	0,29 B	0,75 B	2,57 B	1,22 B	1,58 B	5,88 B	63,69 BC	0,59 B	2,66 B	2,02 B	0,68 B	2,78 B	15,95 A	30,46 AB	3,46 B
+Cu	0,29 B	0,84 B	2,75 B	1,31 B	1,74 B	5,55 B	67,61 ABC	0,58 B	2,72 B	2,16 B	0,68 B	2,73 B	16,02 A	27,95 AB	3,51 B
+Fe	0,37 B	0,82 B	2,76 B	1,44 B	1,87 B	5,96 B	63,73 BC	0,64 B	2,64 B	2,39 B	0,67 B	2,77 B	16,99 A	29,65 AB	3,63 B
+Mn	1,73 A	2,47 A	4,02 A	2,99 A	3,30 A	7,65 A	77,72 AB	1,85 A	4,33 A	3,66 A	2,27 A	4,94 A	18,30 A	34,70 A	5,88 A
+Zn	0,37 B	0,83 B	2,60 B	1,34 B	1,84 B	5,87 B	68,12 ABC	0,55 B	2,68 B	2,19 B	0,77 B	2,82 B	16,41 A	28,63 AB	3,59 B
+M	1,99 A	2,43 A	4,37 A	3,19 A	3,67 A	7,76 A	80,66 A	2,08 A	4,44 A	3,54 A	2,15 A	4,79 A	19,28 A	33,08 AB	6,05 A
Média	0,66 k	1,16 i	3,05 e	1,74 h	2,17 g	6,25 d	68,34 a	0,90 j	3,10 e	2,54 f	1,03 ij	3,29 e	16,97 c	30,17 b	4,12
----- Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	3,62 B	1,50 B	0,95 B	0,50 B	1,52 B	0,71 B	2,22 B	1,02 B	0,50 B	0,88 B	0,21 B	0,28 B	0,64 B	0,22 C	0,91 B
+B	3,58 B	1,32 B	0,33 D	0,45 B	1,43 B	0,69 B	2,21 B	0,80 B	0,35 B	1,04 B	0,17 B	0,17 B	0,75 B	0,35 BC	0,82 BC
+Cu	3,34 B	1,53 B	0,51 CD	0,40 B	1,59 B	0,73 B	2,27 B	0,67 B	0,26 B	0,84 B	0,18 B	0,09 B	0,61 B	0,24 C	0,79 C
+Fe	3,81 B	1,66 B	0,86 BC	0,66 B	1,58 B	0,68 B	2,20 B	0,92 B	0,22 B	1,04 B	0,26 B	0,24 B	0,64 B	0,30 C	0,91 B
+Mn	3,85 B	1,57 B	0,55 BCD	0,55 B	1,31 B	0,61 B	2,53 B	0,81 B	0,22 B	1,12 B	0,13 B	0,28 B	0,97 B	0,67 B	0,91 B
+Zn	7,46 A	4,38 A	3,01 A	2,81 A	4,20 A	3,35 A	5,32 A	3,50 A	2,91 A	3,47 A	2,47 A	2,92 A	3,15 A	2,83 A	3,56 A
+M	8,86 A	4,71 A	3,31 A	3,06 A	4,50 A	3,53 A	5,53 A	3,45 A	2,98 A	3,77 A	2,49 A	2,99 A	3,01 A	2,83 A	3,74 A
Média	4,63 a	2,15 c	1,12 fg	0,98 gh	2,09 c	1,22 ef	2,98 b	1,37 de	0,79 hij	1,52 d	0,62 j	0,70 ij	1,20 ef	0,82 hi	1,42

<sup>(1)</sup>Solo: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 3A. Teores disponíveis de B (por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L) e de Cu, Fe, Mn e Zn (por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1), em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados após o segundo cultivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,21 C	0,21 B	0,21 C	0,26 C	0,21 ABC	0,20 B	0,14 C	0,16 B	0,29 B	0,25 BC	0,16 B	0,35 B	0,21 C	0,16 B	0,21 B
+B	0,35 AB	0,34 A	0,34 A	0,38 AB	0,29 A	0,32 A	0,25 AB	0,30 A	0,46 A	0,36 A	0,32 A	0,49 A	0,31 AB	0,28 A	0,34 A
+Cu	0,25 BC	0,21 B	0,20 C	0,26 C	0,18 C	0,21 B	0,16 C	0,17 B	0,33 B	0,25 BC	0,20 B	0,33 B	0,23 BC	0,16 B	0,22 B
+Fe	0,24 C	0,21 B	0,23 BC	0,25 C	0,20 BC	0,20 B	0,17 BC	0,17 B	0,32 B	0,24 C	0,19 B	0,34 B	0,25 ABC	0,17 B	0,23 B
+Mn	0,25 C	0,21 B	0,19 C	0,25 C	0,20 BC	0,18 B	0,17 BC	0,16 B	0,31 B	0,23 C	0,19 B	0,33 B	0,22 C	0,17 B	0,22 B
+Zn	0,21 C	0,23 B	0,18 C	0,29 BC	0,17 C	0,19 B	0,18 BC	0,14 B	0,35 B	0,23 C	0,18 B	0,33 B	0,19 C	0,18 B	0,22 B
+M	0,36 A	0,32 A	0,30 AB	0,39 A	0,29 AB	0,33 A	0,27 A	0,26 A	0,51 A	0,35 AB	0,31 A	0,49 A	0,33 A	0,29 A	0,34 A
Média	0,27 bcd	0,24 cde	0,24 def	0,30 b	0,22 efgh	0,23 defg	0,19 h	0,19 gh	0,37 a	0,27 bc	0,22 efgh	0,38 a	0,25 cde	0,20 fgh	0,25
----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,11 B	0,12 B	0,03 B	0,02 B	0,22 B	0,22 B	1,38 B	0,08 AB	0,24 B	0,38 B	0,02 B	0,19 B	0,32 B	3,16 B	0,34 B
+B	0,09 B	0,12 B	0,01 B	0,02 B	0,23 B	0,21 B	1,45 B	0,03 AB	0,25 B	0,42 AB	0,03 B	0,20 B	0,34 B	3,24 B	0,34 B
+Cu	0,38 A	0,49 A	0,32 A	0,18 A	0,60 A	0,52 A	1,97 A	0,14 AB	0,48 A	0,56 A	0,17 A	0,43 A	0,60 A	3,80 A	0,61 A
+Fe	0,08 B	0,14 B	0,02 B	0,02 B	0,20 B	0,21 B	1,57 B	0,05 AB	0,23 B	0,37 B	0,03 B	0,18 B	0,36 B	3,18 B	0,34 B
+Mn	0,09 B	0,12 B	0,01 B	0,02 B	0,24 B	0,20 B	1,53 B	0,03 B	0,25 B	0,36 B	0,03 B	0,19 B	0,34 B	3,25 B	0,34 B
+Zn	0,07 B	0,13 B	0,01 B	0,01 B	0,20 B	0,20 B	1,54 B	0,02 B	0,25 B	0,37 B	0,02 B	0,18 B	0,38 B	3,22 B	0,33 B
+M	0,39 A	0,53 A	0,32 A	0,18 A	0,62 A	0,56 A	2,11 A	0,15 A	0,50 A	0,56 A	0,16 A	0,45 A	0,61 A	3,76 A	0,63 A
Média	0,16 g	0,23 f	0,10 h	0,06 h	0,32 d	0,29 de	1,64 b	0,07 h	0,31 de	0,43 c	0,06 h	0,26 ef	0,42 c	3,37 a	0,41
----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	51,84 AB	47,77 A	46,70 A	43,94 AB	36,11 BC	23,01 B	17,19 CD	23,99 B	42,07 ABC	46,35 ABC	23,73 B	54,41 B	31,16 B	16,75 B	33,63 B
+B	49,83 B	49,59 A	45,69 A	42,85 AB	34,37 C	21,78 B	15,92 D	22,78 B	42,03 ABC	46,60 ABC	22,00 B	55,41 AB	33,19 AB	16,69 B	32,99 B
+Cu	51,18 AB	48,88 A	45,43 A	42,66 AB	35,65 BC	21,09 B	15,50 D	24,42 B	40,34 BC	42,48 C	24,03 B	54,96 AB	32,42 B	15,90 B	32,81 B
+Fe	61,16 A	56,30 A	52,13 A	48,37 AB	41,96 AB	32,45 A	21,23 AB	30,27 A	48,76 AB	52,99 AB	32,48 A	64,01 AB	37,31 AB	21,66 A	40,66 A
+Mn	50,90 AB	51,17 A	45,80 A	41,06 AB	35,93 BC	22,65 B	17,79 BCD	25,42 AB	40,83 BC	43,90 BC	23,75 B	53,54 B	32,25 B	16,73 B	33,55 B
+Zn	48,96 B	47,83 A	44,86 A	40,08 B	35,41 BC	20,94 B	19,83 ABC	24,37 B	40,12 C	43,64 C	22,37 B	56,59 AB	31,69 B	15,31 B	32,81 B
+M	57,44 AB	56,31 A	54,15 A	49,48 A	44,17 A	30,49 A	22,20 A	30,65 A	50,21 A	53,20 A	30,85 A	65,98 A	39,33 A	22,62 A	41,10 A
Média	52,89 b	51,01 bc	47,71 cd	43,94 e	37,51 f	24,28 h	18,37 i	25,83 h	43,32 e	46,85 de	25,33 h	57,67 a	33,79 g	17,77 i	35,20

**Quadro 3A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,37 B	0,81 B	2,70 B	1,23 B	1,41 B	4,26 C	105,49 A	0,59 B	2,20 B	2,03 B	0,77 B	2,26 B	17,54 A	24,90 BC	3,45 B
+B	0,35 B	0,78 B	2,59 B	1,02 B	1,17 B	4,22 C	109,05 A	0,52 B	2,15 B	1,92 B	0,69 B	2,11 B	18,24 A	26,13 ABC	3,34 B
+Cu	0,37 B	0,91 B	2,56 B	1,02 B	1,29 B	4,32 C	109,40 A	0,55 B	2,21 B	1,90 B	0,71 B	2,43 B	18,52 A	24,08 C	3,41 B
+Fe	0,41 B	0,85 B	2,86 B	1,17 B	1,43 B	4,83 BC	107,13 A	0,53 B	2,28 B	2,37 B	0,85 B	2,54 B	17,97 A	27,03 ABC	3,61 B
+Mn	2,14 A	2,54 A	5,08 A	2,71 A	2,76 A	6,15 AB	119,06 A	2,14 A	3,96 A	3,85 A	2,56 A	4,61 A	20,14 A	31,73 AB	6,11 A
+Zn	0,44 B	0,92 B	2,78 B	1,13 B	1,37 B	4,48 C	112,30 A	0,54 B	2,27 B	2,06 B	0,81 B	2,40 B	18,11 A	25,62 ABC	3,54 B
+M	2,46 A	3,03 A	5,33 A	3,04 A	3,30 A	6,60 A	127,22 A	2,23 A	4,12 A	4,08 A	2,44 A	4,53 A	20,95 A	33,08 A	6,50 A
Média	0,78 j	1,27 hi	3,28 e	1,51 gh	1,73 g	4,91 d	112,59 a	0,90 j	2,66 f	2,50 f	1,15 i	2,87 ef	18,75 c	27,34 b	4,14
----- Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	1,46 B	0,79 B	0,47 B	0,30 B	0,88 B	0,53 B	1,26 B	0,32 B	0,20 B	0,33 B	0,12 B	0,18 B	0,20 B	0,10 B	0,46 B
+B	1,96 B	0,85 B	0,33 B	0,22 B	0,81 B	0,42 B	1,20 B	0,26 B	0,15 B	0,34 B	0,11 B	0,14 B	0,17 B	0,14 B	0,44 B
+Cu	1,88 B	0,93 B	0,32 B	0,18 B	0,98 B	0,44 B	1,33 B	0,25 B	0,14 B	0,30 B	0,11 B	0,12 B	0,15 B	0,09 B	0,44 B
+Fe	1,66 B	0,93 B	0,43 B	0,34 B	0,93 B	0,55 B	1,24 B	0,29 B	0,16 B	0,35 B	0,11 B	0,20 B	0,16 B	0,09 B	0,47 B
+Mn	1,89 B	0,90 B	0,30 B	0,37 B	0,85 B	0,50 B	1,42 B	0,29 B	0,12 B	0,33 B	0,17 B	0,15 B	0,17 B	0,16 B	0,47 B
+Zn	3,75 A	2,59 A	1,32 A	1,01 A	2,15 A	1,70 A	3,00 A	0,90 A	1,08 A	1,25 A	0,79 A	1,23 A	0,77 A	0,96 A	1,48 A
+M	4,18 A	2,79 A	1,42 A	1,27 A	2,31 A	1,82 A	3,29 A	0,95 A	1,20 A	1,39 A	0,81 A	1,40 A	0,79 A	0,97 A	1,61 A
Média	2,27 a	1,28 c	0,60 e	0,48 efg	1,20 c	0,77 d	1,71 b	0,44 fgh	0,38 ghi	0,56 ef	0,28 i	0,41 fghi	0,32 hi	0,31 hi	0,71
----- Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,09 B	0,10 B	0,00 B	0,00 B	0,35 B	0,23 B	2,13 B	0,00 B	0,32 C	0,54 B	0,00 B	0,15 B	0,25 CD	5,80 AB	0,41 B
+B	0,10 B	0,08 B	0,00 B	0,00 B	0,35 B	0,35 B	2,32 B	0,00 B	0,30 C	0,42 B	0,00 B	0,17 B	0,16 D	5,77 AB	0,41 B
+Cu	0,59 A	0,85 A	0,47 A	0,27 A	1,48 A	1,04 A	3,37 A	0,08 AB	1,38 A	0,88 A	0,34 A	0,58 A	0,77 A	6,67 A	1,01 A
+Fe	0,08 B	0,11 B	0,00 B	0,00 B	0,32 B	0,34 B	2,18 B	0,00 B	0,31 C	0,58 B	0,00 B	0,10 B	0,19 CD	5,76 AB	0,41 B
+Mn	0,14 B	0,11 B	0,00 B	0,00 B	0,36 B	0,30 B	2,13 B	0,00 B	0,25 C	0,61 B	0,00 B	0,19 B	0,16 D	5,69 B	0,42 B
+Zn	0,06 B	0,17 B	0,00 B	0,00 B	0,34 B	0,29 B	2,13 B	0,00 B	0,25 C	0,51 B	0,00 B	0,10 B	0,35 BC	5,75 AB	0,41 B
+M	0,63 A	0,89 A	0,55 A	0,26 A	1,44 A	1,03 A	3,17 A	0,22 A	0,79 B	0,88 A	0,20 A	0,60 A	0,52 B	6,54 AB	0,95 A
Média	0,22 f	0,29 ef	0,13 g	0,07 gh	0,60 c	0,48 d	2,46 b	0,04 h	0,47 d	0,62 c	0,07 gh	0,25 f	0,33 e	5,99 a	0,55

**Quadro 3A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	63,88 BC	89,43 A	98,10 A	104,92 A	109,97 A	41,91 B	18,45 B	66,83 A	70,65 A	59,40 A	37,82 B	83,65 A	30,40 AB	35,33 AB	58,06 B
+B	64,97 BC	89,14 A	99,88 A	97,86 A	105,81 A	39,22 B	18,95 B	64,89 A	70,63 A	56,56 A	39,05 B	84,19 A	29,83 AB	37,83 AB	57,61 B
+Cu	58,84 C	88,31 A	102,44 A	101,48 A	106,96 A	39,67 B	20,10 AB	68,20 A	67,47 A	55,75 A	40,03 AB	82,83 A	29,20 B	34,88 B	57,32 B
+Fe	82,30 A	97,24 A	109,54 A	110,62 A	121,00 A	51,16 A	22,36 AB	75,22 A	81,22 A	65,91 A	48,54 A	92,14 A	35,89 A	42,64 A	67,16 A
+Mn	75,91 AB	88,81 A	103,34 A	103,06 A	109,11 A	41,64 B	18,53 B	66,95 A	72,99 A	57,98 A	38,89 B	84,00 A	28,68 B	35,01 AB	58,75 B
+Zn	73,03 AB	91,40 A	101,21 A	105,50 A	102,27 A	39,34 B	18,33 B	68,77 A	73,82 A	56,92 A	40,58 AB	81,57 A	29,22 B	35,92 AB	58,48 B
+M	82,27 A	99,91 A	111,17 A	114,32 A	114,91 A	47,06 AB	24,24 A	73,88 A	81,76 A	65,59 A	46,04 AB	91,81 A	34,99 AB	42,11 AB	66,73 A
Média	71,09 c	91,94 b	103,57 a	105,27 a	109,86 a	42,67 e	20,04 h	69,16 c	73,91 c	59,60 d	41,40 e	85,65 b	31,06 g	37,55 f	60,46
----- Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,66 B	1,22 B	3,73 B	1,78 B	2,02 B	7,59 B	157,95 A	0,89 B	3,68 B	3,56 B	1,42 B	3,85 B	29,51 A	43,00 A	5,21 BC
+B	0,50 B	1,28 B	3,60 B	1,77 B	1,99 B	7,58 B	159,95 A	0,82 B	3,60 B	3,30 B	1,10 B	3,54 B	29,39 A	43,61 A	5,03 C
+Cu	0,54 B	1,30 B	3,81 B	1,63 B	2,05 B	7,91 B	157,69 A	0,82 B	3,72 B	3,46 B	1,21 B	3,90 B	30,09 A	39,85 A	5,11 BC
+Fe	0,58 B	1,41 B	3,98 B	1,97 B	2,20 B	8,61 AB	155,71 A	0,88 B	4,01 B	3,89 B	1,35 B	4,12 B	31,73 A	43,63 A	5,46 B
+Mn	2,57 A	3,08 A	6,30 A	4,16 A	3,92 A	10,33 A	168,23 A	2,66 A	6,56 A	5,97 A	3,09 A	7,24 A	35,51 A	47,72 A	8,64 A
+Zn	0,57 B	1,45 B	3,96 B	1,86 B	1,91 B	7,78 B	159,97 A	0,82 B	4,49 B	3,41 B	1,27 B	4,05 B	29,59 A	41,92 A	5,28 BC
+M	2,98 A	3,59 A	6,52 A	5,02 A	4,71 A	10,38 A	170,16 A	2,80 A	6,82 A	6,18 A	3,22 A	6,95 A	33,96 A	49,05 A	9,10 A
Média	1,02 j	1,78 h	4,44 ef	2,41 g	2,56 g	8,53 d	161,30 a	1,26 i	4,56 ef	4,14 f	1,70 h	4,64 e	31,32 c	44,01 b	6,09
----- Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	2,78 C	1,42 B	0,55 B	0,66 B	1,44 B	1,10 B	2,28 B	0,83 B	0,45 B	0,82 B	0,53 B	0,35 B	0,72 B	0,46 B	0,93 BC
+B	3,45 C	1,48 B	0,43 B	0,54 B	1,34 B	0,86 B	2,40 B	0,79 B	0,34 B	0,95 B	0,46 B	0,27 B	0,52 B	0,29 B	0,87 C
+Cu	3,47 C	1,65 B	0,36 B	0,71 B	1,58 B	1,01 B	2,33 B	0,82 B	0,65 B	0,68 B	0,47 B	0,23 B	0,52 B	0,25 B	0,90 BC
+Fe	3,24 C	1,91 B	0,56 B	0,89 B	1,61 B	1,13 B	2,64 B	0,90 B	0,47 B	0,80 B	0,46 B	0,43 B	0,65 B	0,23 B	0,99 B
+Mn	3,30 C	1,53 B	0,49 B	0,94 B	1,40 B	1,15 B	2,59 B	0,91 B	0,32 B	0,73 B	0,59 B	0,26 B	0,52 B	0,52 B	0,95 BC
+Zn	5,59 B	4,18 A	2,52 A	2,29 A	3,66 A	3,29 A	5,10 A	2,77 A	2,45 A	2,95 A	2,16 A	2,46 A	2,16 A	2,39 A	3,02 A
+M	7,50 A	4,51 A	2,84 A	2,61 A	3,75 A	3,34 A	5,71 A	2,79 A	2,73 A	2,96 A	2,20 A	2,82 A	2,15 A	2,49 A	3,27 A
Média	3,99 a	2,19 c	0,92 fg	1,12 ef	1,97 c	1,53 d	3,11 b	1,27 e	0,87 g	1,25 e	0,86 g	0,75 g	0,93 fg	0,76 g	1,40

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 4A. Teores disponíveis de B (por CaCl<sub>2</sub> 5 mmol/L) e de Cu, Fe, Mn e Zn (por DTPA pH 7,3 e por Mehlich-1), em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados após o terceiro cultivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>													Média	
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL		LVdf-SSP
	----- B disponível, em mg/dm <sup>3</sup> -----														
-M	0,17 C	0,16 B	0,15 BC	0,19 C	0,11 B	0,14 B	0,10 A	0,13 B	0,27 B	0,21 C	0,16 ABC	0,29 AB	0,16 A	0,12 A	0,17 B
+B	0,28 A	0,25 A	0,23 AB	0,36 A	0,24 A	0,20 AB	0,14 A	0,24 A	0,43 A	0,32 A	0,23 AB	0,36 AB	0,21 A	0,18 A	0,26 A
+Cu	0,19 ABC	0,14 B	0,14 C	0,22 BC	0,11 B	0,13 B	0,10 A	0,16 AB	0,31 B	0,24 ABC	0,16 BC	0,28 B	0,16 A	0,11 A	0,17 B
+Fe	0,19 BC	0,18 AB	0,17 ABC	0,20 C	0,10 B	0,14 B	0,10 A	0,16 AB	0,32 B	0,24 ABC	0,14 C	0,29 B	0,16 A	0,14 A	0,18 B
+Mn	0,17 C	0,20 AB	0,15 BC	0,19 C	0,12 B	0,13 B	0,10 A	0,12 B	0,28 B	0,23 BC	0,15 BC	0,28 B	0,16 A	0,12 A	0,17 B
+Zn	0,18 BC	0,14 B	0,15 BC	0,18 C	0,11 B	0,15 AB	0,09 A	0,14 B	0,32 B	0,23 ABC	0,16 BC	0,30 AB	0,15 A	0,14 A	0,17 B
+M	0,27 AB	0,25 A	0,24 A	0,31 AB	0,23 A	0,23 A	0,15 A	0,23 A	0,42 A	0,31 AB	0,25 A	0,38 A	0,19 A	0,18 A	0,26 A
Média	0,21 cd	0,19 de	0,18 defg	0,23 bc	0,14 fgh	0,16 efg	0,11 h	0,17 defg	0,33 a	0,25 b	0,18 def	0,31 a	0,17 efg	0,14 gh	0,20
	----- Cu disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----														
-M	0,13 B	0,14 B	0,00 B	0,01 B	0,23 B	0,22 B	1,48 B	0,00 B	0,28 B	0,42 B	0,00 B	0,16 B	0,43 BC	3,19 BC	0,34 B
+B	0,08 B	0,12 B	0,00 B	0,01 B	0,23 B	0,21 B	1,56 B	0,00 B	0,29 B	0,44 B	0,00 B	0,17 B	0,40 C	3,28 C	0,34 B
+Cu	0,38 A	0,52 A	0,31 A	0,19 A	0,63 A	0,57 A	2,03 A	0,12 AB	0,54 A	0,67 A	0,17 A	0,43 A	0,59 B	3,89 B	0,63 A
+Fe	0,10 B	0,16 B	0,00 B	0,02 B	0,25 B	0,23 B	1,64 B	0,00 B	0,31 B	0,44 B	0,00 B	0,20 B	0,36 C	3,35 C	0,36 B
+Mn	0,08 B	0,13 B	0,00 B	0,01 B	0,24 B	0,21 B	1,60 B	0,00 B	0,26 B	0,44 B	0,00 B	0,18 B	0,36 C	3,52 C	0,35 B
+Zn	0,07 B	0,13 B	0,00 B	0,01 B	0,22 B	0,21 B	1,49 B	0,00 B	0,28 B	0,44 B	0,00 B	0,19 B	0,34 C	3,20 C	0,33 B
+M	0,39 A	0,52 A	0,32 A	0,18 A	0,75 A	0,60 A	2,03 A	0,14 A	0,54 A	0,64 A	0,16 A	0,46 A	0,81 A	4,04 A	0,66 A
Média	0,17 f	0,23 e	0,08 g	0,06 g	0,35 d	0,31 d	1,68 b	0,03 g	0,35 d	0,50 c	0,04 g	0,25 e	0,46 c	3,48 a	0,42
	----- Fe disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----														
-M	63,36 A	61,78 A	53,48 BC	55,45 BC	52,70 ABC	31,39 B	24,12 A	28,14 C	50,69 A	65,30 A	30,18 C	70,77 B	39,92 C	20,94 C	43,21 B
+B	61,24 A	60,66 A	51,62 C	52,89 BC	49,10 BC	31,87 B	23,70 A	28,25 C	51,87 A	65,48 A	26,94 C	71,31 B	43,85 BC	21,24 BC	42,67 B
+Cu	62,20 A	58,27 A	55,68 BC	53,86 BC	49,45 BC	32,15 B	24,05 A	30,98 BC	49,68 A	64,13 A	31,59 BC	76,72 AB	42,50 BC	20,68 BC	43,60 B
+Fe	73,49 A	69,49 A	63,49 AB	62,50 AB	58,78 AB	43,39 A	27,12 A	36,89 AB	57,49 A	73,39 A	43,02 A	87,28 A	49,50 AB	27,95 AB	52,32 A
+Mn	63,03 A	61,01 A	53,08 BC	51,54 C	52,85 ABC	30,81 B	24,37 A	28,73 C	48,72 A	64,51 A	28,20 C	75,03 AB	42,50 BC	21,50 BC	43,04 B
+Zn	62,45 A	61,20 A	50,49 C	51,87 BC	47,48 C	30,23 B	25,95 A	28,65 C	49,55 A	61,53 A	29,77 C	75,95 AB	39,34 C	21,54 C	42,56 B
+M	71,27 A	70,22 A	69,63 A	68,56 A	59,89 A	42,23 A	27,39 A	39,33 A	56,68 A	68,26 A	37,86 AB	87,30 A	54,72 A	28,06 A	52,78 A
Média	65,14 b	63,09 b	56,43 c	56,38 cd	52,71 cd	34,22 f	25,20 h	31,31 g	52,00 d	66,00 b	32,11 fg	77,51 a	44,35 e	22,95 i	45,55

**Quadro 4A. Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Mn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,32 B	0,86 B	3,05 B	1,22 B	1,13 C	3,91 C	137,46 A	0,61 B	2,22 B	1,95 B	0,73 B	1,99 B	12,61 A	16,02 A	3,23 BC
+B	0,29 B	0,70 B	2,97 B	1,05 B	1,04 C	3,78 C	136,83 A	0,48 B	1,98 B	1,88 B	0,73 B	2,02 B	12,66 A	16,31 A	3,10 C
+Cu	0,36 B	0,87 B	2,57 B	1,00 B	1,21 C	3,82 C	127,56 A	0,44 B	2,03 B	1,82 B	0,80 B	1,94 B	12,52 A	15,12 A	3,08 C
+Fe	0,43 B	0,90 B	3,44 B	1,42 B	1,34 C	4,69 BC	136,15 A	0,65 B	2,13 B	2,27 B	0,81 B	2,27 B	13,33 A	17,54 A	3,50 B
+Mn	1,85 A	2,71 A	5,67 A	2,91 A	2,05 B	6,36 AB	146,13 A	2,15 A	3,76 A	4,43 A	2,58 A	3,93 A	14,56 A	24,18 A	5,86 A
+Zn	0,39 B	1,09 B	3,02 B	1,17 B	1,52 BC	4,23 C	139,48 A	0,59 B	1,81 B	1,91 B	0,79 B	2,16 B	12,57 A	15,11 A	3,31 BC
+M	2,21 A	2,76 A	5,49 A	2,95 A	3,07 A	6,65 A	144,67 A	2,14 A	3,49 A	3,98 A	1,96 A	4,61 A	15,12 A	20,53 A	5,91 A
Média	0,70 k	1,29 hi	3,61 e	1,57 g	1,55 gh	4,68 d	138,21 a	0,90 jk	2,42 f	2,48 f	1,11 ij	2,58 f	13,31 c	17,60 b	3,87
----- Zn disponível extraído por DTPA pH 7,3, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	1,39 C	1,31 C	0,51 B	0,32 B	1,11 B	0,69 B	1,77 B	0,73 B	0,63 B	0,64 B	0,38 D	0,54 B	0,50 B	0,41 B	0,74 CD
+B	1,65 BC	1,34 C	0,51 B	0,27 B	1,06 B	0,61 B	1,75 B	0,66 B	0,43 B	0,75 B	0,45 CD	0,41 B	0,51 B	0,45 B	0,72 CD
+Cu	1,95 BC	1,28 C	0,37 B	0,22 B	1,18 B	0,63 B	1,72 B	0,47 B	0,34 B	0,69 B	0,38 CD	0,42 B	0,43 B	0,49 B	0,69 D
+Fe	1,80 BC	1,29 C	0,65 B	0,43 B	1,32 B	0,83 B	1,65 B	0,73 B	0,35 B	0,83 B	0,74 C	0,56 B	0,43 B	0,48 B	0,81 C
+Mn	2,17 B	1,17 C	0,55 B	0,39 B	1,22 B	0,72 B	1,99 B	0,68 B	0,36 B	0,78 B	0,68 CD	0,46 B	0,38 B	0,47 B	0,79 CD
+Zn	3,54 A	2,90 B	1,76 A	1,36 A	2,78 A	2,07 A	3,86 A	2,23 A	1,91 A	2,01 A	2,30 A	2,11 A	1,48 A	1,54 A	2,20 B
+M	4,55 A	4,60 A	2,28 A	1,73 A	3,05 A	2,55 A	4,34 A	1,56 B	1,85 A	2,34 A	1,60 B	2,55 A	1,71 A	1,84 A	2,47 A
Média	2,29 a	1,80 b	0,84 ef	0,60 g	1,57 b	1,05 cd	2,30 a	0,93 cde	0,74 fg	1,06 c	0,83 ef	0,86 def	0,71 fg	0,74 fg	1,10
----- Cu disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,33 BC	0,33 B	0,00 B	0,13 C	0,66 C	0,64 B	2,04 B	0,00 B	0,29 D	0,30 B	0,00 C	0,39 C	0,32 B	5,10 B	0,51 C
+B	0,43 B	0,44 B	0,00 B	0,17 C	0,61 C	0,49 B	2,25 B	0,00 B	0,41 CD	0,43 B	0,00 C	0,43 C	0,19 B	5,03 B	0,53 C
+Cu	0,93 A	0,84 A	0,87 A	0,49 B	1,18 B	1,44 A	3,01 A	0,46 A	0,65 B	1,17 A	0,15 B	1,60 A	0,78 A	5,80 A	1,13 B
+Fe	0,69 A	0,40 B	0,00 B	0,11 C	0,69 C	0,53 B	1,99 B	0,00 B	0,52 BC	0,35 B	0,00 C	0,43 C	0,27 B	5,21 B	0,55 C
+Mn	0,27 BC	0,26 B	0,00 B	0,19 C	0,74 C	0,54 B	2,29 B	0,00 B	0,60 BC	0,32 B	0,00 C	0,47 C	0,29 B	4,97 B	0,54 C
+Zn	0,22 C	0,44 B	0,00 B	0,22 C	0,61 C	0,50 B	2,25 B	0,00 B	0,57 BC	0,36 B	0,00 C	0,44 C	0,27 B	5,19 B	0,54 C
+M	0,88 A	0,83 A	0,81 A	0,86 A	2,05 A	1,47 A	3,23 A	0,54 A	1,10 A	1,19 A	0,39 A	0,84 B	0,67 A	6,07 A	1,24 A
Média	0,51 f	0,49 f	0,19 i	0,29 h	0,89 c	0,76 d	2,41 b	0,12 j	0,57 ef	0,55 ef	0,07 j	0,62 e	0,38 g	5,33 a	0,70

**Quadro 4A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Fe disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	83,73 A	94,14 A	105,18 A	110,44 A	114,37 A	46,89 AB	22,39 A	70,87 A	74,75 A	61,99 A	43,29 AB	93,23 A	37,63 AB	36,64 AB	64,30 B
+B	81,55 A	96,11 A	106,09 A	110,29 A	112,91 A	44,28 B	23,63 A	72,54 A	76,55 A	61,76 A	41,42 AB	92,21 A	33,76 B	37,02 B	63,74 B
+Cu	82,91 A	97,29 A	109,15 A	112,30 A	110,69 A	44,48 B	22,90 A	75,80 A	78,14 A	61,81 A	40,76 B	97,04 A	35,98 AB	35,42 AB	64,42 B
+Fe	90,49 A	108,85 A	118,78 A	121,83 A	121,20 A	55,00 A	26,56 A	85,11 A	87,65 A	71,25 A	50,18 A	107,15 A	42,61 A	44,40 A	73,70 A
+Mn	81,59 A	96,57 A	108,13 A	111,23 A	114,58 A	45,44 AB	22,77 A	76,85 A	81,79 A	65,72 A	43,56 AB	99,96 A	34,82 B	39,15 B	65,77 B
+Zn	81,36 A	96,66 A	108,13 A	111,20 A	111,21 A	45,02 B	23,61 A	77,90 A	80,50 A	64,00 A	42,68 AB	97,05 A	34,37 B	39,02 B	65,30 B
+M	89,49 A	104,79 A	118,42 A	129,11 A	123,71 A	53,21 AB	27,12 A	81,73 A	85,08 A	70,27 A	49,32 AB	108,10 A	38,79 AB	43,51 AB	72,70 A
Média	84,37 c	99,08 b	110,43 a	115,01 a	115,43 a	47,59 f	24,08 h	77,12 d	80,53 cd	65,15 e	44,33 f	99,08 b	36,74 g	39,18 g	67,03
----- Mn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	0,43 B	0,96 B	4,04 B	1,99 BC	1,66 B	6,68 B	184,56 A	0,55 B	3,51 B	3,06 B	0,90 B	3,43 B	24,14 A	25,66 A	4,54 BC
+B	0,38 B	0,92 B	3,87 B	1,65 BC	1,55 B	6,56 B	181,27 A	0,39 B	3,24 B	2,96 B	0,84 B	3,40 B	23,23 A	27,59 A	4,35 C
+Cu	0,34 B	1,09 B	3,84 B	1,59 C	1,75 B	6,63 B	184,74 A	0,36 B	3,15 B	2,96 B	0,82 B	3,15 B	23,82 A	25,59 A	4,34 C
+Fe	0,40 B	1,08 B	4,45 B	2,21 B	1,75 B	6,74 B	181,74 A	0,54 B	3,28 B	3,30 B	0,89 B	3,67 B	24,14 A	29,05 A	4,69 B
+Mn	2,03 A	3,10 A	6,77 A	4,19 A	3,36 A	9,00 A	194,82 A	2,44 A	4,81 A	5,67 A	3,02 A	5,88 A	27,24 A	33,38 A	7,74 A
+Zn	0,36 B	1,01 B	4,03 B	1,81 BC	1,63 B	6,96 B	183,64 A	0,39 B	2,98 B	3,15 B	0,86 B	3,46 B	23,28 A	25,87 A	4,41 BC
+M	2,45 A	3,32 A	6,48 A	4,31 A	3,65 A	9,40 A	192,38 A	2,32 A	5,19 A	5,54 A	2,79 A	6,99 A	25,90 A	30,66 A	7,89 A
Média	0,76 j	1,49 i	4,67 e	2,39 h	2,10 h	7,35 d	186,10 a	0,84 j	3,67 g	3,68 fg	1,30 i	4,12 f	24,50 c	28,13 b	5,26
----- Zn disponível extraído por Mehlich-1, em mg/dm <sup>3</sup> -----															
-M	2,57 C	1,76 B	0,55 B	0,66 BC	1,38 B	0,91 B	2,47 B	1,32 BC	0,86 B	0,91 B	0,55 B	0,52 B	0,75 B	0,40 B	1,02 BC
+B	2,98 C	1,56 B	0,58 B	0,52 BC	1,46 B	0,87 B	2,39 B	1,25 BC	0,59 BC	1,04 B	0,59 B	0,34 B	0,68 B	0,53 B	0,99 BC
+Cu	2,89 C	1,56 B	0,57 B	0,37 C	1,50 B	0,79 B	2,30 B	0,90 C	0,45 C	0,91 B	0,51 B	0,46 B	0,64 B	0,40 B	0,91 C
+Fe	2,95 C	1,71 B	0,56 B	0,78 B	1,63 B	0,99 B	2,68 B	1,56 B	0,50 BC	0,99 B	0,77 B	0,56 B	0,70 B	0,44 B	1,09 B
+Mn	2,93 C	1,65 B	0,68 B	0,75 B	1,48 B	0,92 B	2,70 B	1,46 B	0,49 BC	1,04 B	0,63 B	0,48 B	0,61 B	0,41 B	1,04 B
+Zn	4,71 B	3,96 A	2,30 A	2,16 A	2,89 A	2,54 A	4,82 A	3,26 A	2,20 A	2,70 A	2,38 A	2,29 A	2,09 A	2,04 A	2,79 A
+M	6,68 A	3,99 A	2,82 A	2,61 A	3,47 A	2,97 A	4,84 A	2,66 A	2,35 A	3,02 A	2,05 A	2,70 A	2,06 A	2,00 A	3,01 A
Média	3,50 a	2,17 c	1,00 f	0,99 f	1,88 cd	1,30 e	3,05 b	1,67 d	0,94 fg	1,39 e	0,96 fg	0,88 fg	0,99 f	0,78 g	1,43

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU – Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra , maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 5A. Produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados no primeiro cultivo sucessivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Matéria Seca, em g -----															
-M	8,75 A	12,54 A	5,84 B	7,69 A	12,54 A	12,75 A	16,96 A	6,10 AB	8,79 A	6,01 B	8,49 A	10,75 A	13,29 A	8,97 B	9,52 BC
+B	10,49 A	11,93 A	7,14 AB	7,15 AB	13,66 A	10,78 A	17,69 A	6,07 AB	8,90 A	8,87 A	8,77 A	10,95 A	15,09 A	10,71 AB	10,19 AB
+Cu	11,08 A	10,21 A	7,59 AB	7,42 A	14,93 A	12,90 A	15,99 A	6,57 A	10,70 A	6,22 B	8,90 A	12,26 A	14,34 A	10,71 AB	10,30 AB
+Fe	9,23 A	10,54 A	6,20 AB	5,27 B	12,61 A	9,82 A	17,18 A	4,58 B	11,86 A	6,53 AB	7,95 A	11,69 A	15,67 A	10,14 AB	9,35 C
+Mn	11,84 A	11,72 A	7,59 AB	6,81 AB	15,75 A	11,54 A	15,70 A	6,98 A	10,68 A	6,75 AB	10,47 A	11,20 A	14,94 A	11,53 AB	10,58 A
+Zn	10,17 A	10,46 A	6,84 AB	7,89 A	14,28 A	11,69 A	16,00 A	6,99 A	10,50 A	7,59 AB	10,48 A	11,00 A	15,14 A	13,47 A	10,55 A
+M	9,26 A	10,96 A	8,09 A	6,49 AB	13,64 A	11,08 A	15,19 A	5,67 AB	9,95 A	6,84 AB	9,20 A	10,01 A	15,38 A	10,48 AB	9,79 ABC
Média	10,07 de	11,17 cd	7,01 f	6,92 fg	13,88 b	11,47 c	16,37 a	6,09 g	10,15 cde	6,92 fg	9,14 e	11,10 cd	14,82 ab	10,79 cd	10,03
----- Teor de B, em mg/kg -----															
-M	29 A	18 A	26 A	30 A	18 A	15 C	15 A	43 A	29 A	39 A	36 A	26 A	20 A	28 A	25 B
+B	29 A	27 A	31 A	45 A	20 A	39 A	16 A	43 A	52 A	49 A	37 A	32 A	35 A	34 A	33 A
+Cu	26 A	20 A	29 A	30 A	19 A	21 ABC	14 A	37 A	26 A	30 A	37 A	23 A	26 A	27 A	25 B
+Fe	26 A	26 A	28 A	33 A	17 A	28 ABC	15 A	31 A	26 A	27 A	35 A	27 A	30 A	32 A	27 B
+Mn	22 A	22 A	25 A	31 A	13 A	21 ABC	12 A	33 A	33 A	31 A	28 A	27 A	30 A	23 A	24 B
+Zn	22 A	17 A	31 A	30 A	14 A	18 BC	12 A	36 A	30 A	37 A	28 A	30 A	28 A	31 A	25 B
+M	30 A	31 A	34 A	40 A	22 A	30 AB	17 A	50 A	38 A	44 A	38 A	32 A	38 A	36 A	33 A
Média	26 cd	23 de	29 abcd	34 abc	17 ef	24 de	14 f	38 a	33 abc	36 ab	34 abc	28 bcd	29 abcd	30 abcd	27
----- Conteúdo de B, em µg/vaso -----															
-M	249 A	225 A	154 A	233 A	226 A	185 B	252 A	259 A	255 A	233 AB	303 A	282 A	262 B	253 A	238 B
+B	302 A	323 A	223 A	320 A	266 A	419 A	290 A	259 A	464 A	436 A	325 A	349 A	529 AB	363 A	338 A
+Cu	293 A	200 A	217 A	224 A	280 A	274 AB	228 A	242 A	277 A	187 B	331 A	280 A	376 AB	292 A	260 B
+Fe	243 A	275 A	174 A	176 A	208 A	277 AB	250 A	142 A	312 A	174 B	280 A	318 A	470 AB	327 A	247 B
+Mn	255 A	261 A	192 A	209 A	206 A	246 AB	184 A	227 A	355 A	212 AB	297 A	303 A	449 AB	261 A	253 B
+Zn	221 A	174 A	209 A	239 A	199 A	210 AB	194 A	249 A	312 A	278 AB	298 A	325 A	429 AB	412 A	258 B
+M	281 A	345 A	272 A	259 A	303 A	337 AB	252 A	284 A	380 A	298 AB	351 A	323 A	580 A	377 A	324 A
Média	262 bcd	251 bcd	203 d	233 cd	238 bcd	270 bcd	233 cd	233 cd	331 ab	248 bcd	311 abc	311 abc	430 a	321 abc	272

**Quadro 5A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Teor de Cu, em mg/kg -----															
-M	1,61 A	1,33 B	0,37 B	0,67 B	3,56 A	1,50 B	2,98 A	0,24 B	1,75 AB	1,32 A	0,29 B	0,86 A	1,64 A	8,72 A	1,47 B
+B	1,66 A	1,50 B	0,34 B	0,64 B	2,67 A	2,01 AB	3,20 A	0,24 B	1,51 AB	1,42 A	0,58 B	1,07 A	1,27 A	9,00 A	1,50 B
+Cu	2,41 A	4,26 A	2,61 A	4,14 A	4,75 A	3,78 A	3,63 A	2,80 A	3,12 A	1,57 A	2,02 A	2,04 A	2,14 A	9,43 A	3,19 A
+Fe	1,76 A	1,58 B	0,50 B	0,62 B	2,56 A	1,58 B	2,62 A	0,39 B	1,14 B	1,30 A	0,41 B	0,77 A	1,19 A	8,30 A	1,39 B
+Mn	1,06 A	1,00 B	0,24 B	0,48 B	3,13 A	1,65 B	2,43 A	0,28 B	1,81 AB	1,32 A	0,19 B	0,81 A	1,22 A	8,11 A	1,28 B
+Zn	1,02 A	1,61 B	0,22 B	0,38 B	2,82 A	1,32 B	2,71 A	0,25 B	1,23 B	1,39 A	0,19 B	0,77 A	1,39 A	9,28 A	1,28 B
+M	2,13 A	2,17 AB	2,31 A	3,28 A	4,78 A	2,44 AB	3,47 A	1,87 A	2,39 AB	1,60 A	2,05 A	1,65 A	2,11 A	10,10 A	2,69 A
Média	1,62 cd	1,79 c	0,75 e	1,13 de	3,39 b	1,95 c	2,99 b	0,68 e	1,78 c	1,41 cd	0,68 e	1,09 de	1,54 cd	8,97 a	1,75
----- Conteúdo de Cu, em µg/vaso -----															
-M	13,75 A	15,78 AB	2,09 B	4,75 B	44,57 A	18,95 AB	49,40 A	1,37 B	15,14 A	7,93 A	2,22 B	9,22 AB	21,66 A	77,49 A	12,02 B
+B	17,05 A	17,70 AB	2,28 B	4,32 B	32,03 A	21,39 AB	56,55 A	1,41 B	13,32 A	12,44 A	3,67 B	11,57 AB	18,94 A	96,34 A	13,18 B
+Cu	25,61 A	42,92 A	19,30 A	30,57 A	70,56 A	48,61 A	56,72 A	18,33 A	33,26 A	9,72 A	17,69 A	24,99 A	28,89 A	100,84 A	31,72 A
+Fe	16,21 A	16,01 AB	2,89 B	3,18 B	29,90 A	15,04 B	44,48 A	1,62 B	13,26 A	8,00 A	2,53 B	8,77 AB	18,27 A	84,14 A	11,40 B
+Mn	12,09 A	11,15 B	1,82 B	2,86 B	49,24 A	18,85 AB	36,02 A	1,74 B	19,03 A	8,84 A	1,85 B	8,85 AB	18,06 A	93,20 A	11,26 B
+Zn	10,25 A	16,36 AB	1,35 B	2,91 B	39,73 A	15,19 B	42,27 A	1,61 B	12,65 A	10,51 A	1,85 B	8,13 B	21,03 A	124,81 A	11,14 B
+M	19,17 A	23,02 AB	18,60 A	20,41 A	64,54 A	24,58 AB	49,50 A	10,49 A	23,30 A	10,88 A	18,79 A	16,40 AB	32,45 A	105,78 A	25,16 A
Média	15,70 cd	18,79 c	4,21 gh	6,48 fg	45,16 b	21,50 c	47,33 b	3,22 h	17,53 cd	9,65 ef	4,54 gh	11,62 de	22,23 c	96,51 a	15,19
----- Teor de Fe, em mg/kg -----															
-M	135 A	125 A	118 A	491 A	195 A	91 A	96 A	407 AB	243 AB	177 A	472 AB	193 A	182 A	338 AB	200 BC
+B	150 A	132 A	145 A	642 A	188 A	112 A	108 A	444 AB	213 AB	186 A	343 B	155 A	182 A	351 AB	206 BC
+Cu	119 A	137 A	109 A	395 A	154 A	117 A	107 A	328 AB	154 B	161 A	355 AB	134 A	159 A	208 B	170 BC
+Fe	234 A	176 A	208 A	712 A	227 A	124 A	118 A	632 A	327 A	279 A	728 A	238 A	230 A	478 A	284 A
+Mn	150 A	132 A	143 A	452 A	154 A	99 A	94 A	255 B	171 AB	151 A	380 AB	130 A	175 A	266 AB	176 BC
+Zn	145 A	131 A	129 A	532 A	173 A	128 A	78 A	377 AB	223 AB	179 A	264 B	173 A	181 A	372 AB	194 BC
+M	225 A	171 A	136 A	440 A	185 A	145 A	102 A	369 AB	300 AB	174 A	328 B	144 A	152 A	355 AB	210 B
Média	161 d	142 de	139 de	513 a	181 cd	115 ef	100 f	388 ab	226 c	183 cd	390 ab	163 d	179 cd	329 b	203

**Quadro 5A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Conteúdo de Fe, em µg/vaso -----															
-M	1.175 A	1.564 A	689 A	3.771 A	2.446 A	1.162 A	1.620 A	2.477 A	2.140 AB	1.063 A	4.009 A	2.075 A	2.424 A	3.002 AB	1.892 B
+B	1.575 A	1.574 A	1.032 A	4.586 A	2.567 A	1.208 A	1.910 A	2.694 A	1.893 AB	1.647 A	3.003 A	1.698 A	2.741 A	3.763 AB	2.092 B
+Cu	1.318 A	1.394 A	828 A	2.934 A	2.292 A	1.512 A	1.712 A	2.153 A	1.644 B	994 A	3.158 A	1.638 A	2.275 A	2.220 B	1.745 B
+Fe	2.157 A	1.857 A	1.287 A	3.751 A	2.854 A	1.215 A	2.032 A	2.879 A	3.875 A	1.816 A	5.784 A	2.781 A	3.609 A	4.847 A	2.635 A
+Mn	1.779 A	1.543 A	1.083 A	3.070 A	2.427 A	1.142 A	1.474 A	1.778 A	1.822 AB	1.016 A	3.977 A	1.460 A	2.612 A	3.063 AB	1.855 B
+Zn	1.475 A	1.369 A	885 A	4.197 A	2.472 A	1.490 A	1.242 A	2.633 A	2.339 AB	1.360 A	2.763 A	1.905 A	2.735 A	4.998 A	2.033 B
+M	2.085 A	1.878 A	1.103 A	2.854 A	2.521 A	1.604 A	1.555 A	2.093 A	2.984 AB	1.189 A	3.019 A	1.439 A	2.328 A	3.713 AB	2.040 B
Média	1.616 de	1.586 de	969 f	3.542 a	2.506 bc	1.322 def	1.631 de	2.358 bc	2.288 bc	1.265 ef	3.563 a	1.812 cd	2.646 ab	3.536 a	2.026
----- Teor de Mn, em mg/kg -----															
-M	50 BC	65 C	112 A	114 A	129 ABC	179 A	1472 A	76 BC	128 A	126 A	104 A	121 A	135 A	1.213 A	152 B
+B	42 C	54 C	125 A	134 A	106 BC	223 A	1568 A	67 C	179 A	119 A	90 A	131 A	131 A	1.115 A	152 B
+Cu	39 C	61 C	118 A	122 A	99 C	180 A	1498 A	64 C	144 A	108 A	78 A	117 A	133 A	956 A	140 B
+Fe	43 C	56 C	120 A	120 A	107 BC	215 A	1422 A	69 C	131 A	131 A	91 A	104 A	134 A	934 A	144 B
+Mn	103 AB	154 A	181 A	198 A	229 A	279 A	1631 A	146 AB	223 A	177 A	155 A	196 A	126 A	999 A	232 A
+Zn	47 C	72 BC	109 A	130 A	118 ABC	192 A	1386 A	76 BC	137 A	111 A	79 A	120 A	124 A	1.042 A	147 B
+M	133 A	140 AB	196 A	190 A	207 AB	330 A	1687 A	190 A	175 A	178 A	161 A	181 A	130 A	970 A	237 A
Média	58 g	79 fg	134 de	141 de	135 de	223 c	1520 a	90 f	157 d	133 de	104 ef	135 de	130 de	1.029 b	168
----- Conteúdo de Mn, em µg/vaso -----															
-M	437 B	810 ABC	656 B	876 A	1.620 AB	2.285 A	24.949 A	462 BC	1.127 A	754 A	885 AB	1.302 A	1.789 A	10.768 A	1.440 B
+B	440 B	645 C	892 AB	956 A	1.445 B	2.404 A	27.723 A	406 C	1.595 A	1.056 A	787 AB	1.435 A	1.983 A	11.941 A	1.541 B
+Cu	437 B	621 C	892 AB	907 A	1.471 B	2.319 A	23.950 A	418 C	1.536 A	666 A	696 B	1.436 A	1.904 A	10.227 A	1.430 B
+Fe	401 B	588 C	745 AB	632 A	1.347 B	2.112 A	24.422 A	316 C	1.551 A	851 A	720 B	1.218 A	2.102 A	9.467 A	1.334 B
+Mn	1.221 A	1.806 A	1.374 AB	1.347 A	3.602 A	3.218 A	25.607 A	1.016 AB	2.377 A	1.191 A	1.626 A	2.193 A	1.879 A	11.519 A	2.443 A
+Zn	474 B	755 BC	748 AB	1.028 A	1.685 AB	2.240 A	22.178 A	533 ABC	1.443 A	838 A	831 AB	1.318 A	1.872 A	14.016 A	1.542 B
+M	1.231 A	1.539 AB	1.582 A	1.232 A	2.823 AB	3.652 A	25.618 A	1.075 A	1.742 A	1.216 A	1.483 AB	1.811 A	1.994 A	10.162 A	2.307 A
Média	587 f	877 e	937 e	972 e	1.868 cd	2.554 c	24.871 a	546 f	1.589 d	918 e	950 e	1.500 d	1.929 cd	11.074 b	1.674

**Quadro 5A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Teor de Zn, em mg/kg -----															
-M	102 B	45 BC	28 BC	35 B	65 B	27 B	15 AB	32 C	20 C	23 BC	24 B	20 B	23 BC	23 B	30 CD
+B	133 AB	49 BC	27 BC	39 B	63 B	29 B	12 AB	36 BC	20 C	24 ABC	25 B	15 B	20 BC	24 B	30 C
+Cu	92 B	55 BC	18 C	33 B	60 B	24 B	13 AB	28 C	20 C	24 BC	16 B	16 B	23 BC	21 B	27 CD
+Fe	106 B	34 C	21 C	39 B	64 B	24 B	10 B	30 C	19 C	18 C	18 B	14 B	15 C	19 B	25 D
+Mn	134 AB	48 BC	29 BC	38 B	47 B	26 B	11 B	28 C	25 BC	22 BC	20 B	21 B	17 C	21 B	29 CD
+Zn	228 A	136 A	87 A	121 A	143 A	77 A	24 A	99 A	60 A	47 A	76 A	66 A	59 A	64 A	80 A
+M	158 AB	84 AB	50 AB	92 A	128 A	66 A	24 A	64 AB	42 AB	44 AB	67 A	51 A	37 AB	58 A	61 B
Média	130	58	32	50	75	35	15	41	27	27	29	24	25	29	37
----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----															
-M	891 B	562 BC	162 C	270 B	819 C	349 BC	255 ABC	196 BC	173 C	137 C	205 B	213 B	312 BC	204 B	283 C
+B	1.391 AB	583 BC	190 C	281 B	865 BC	308 C	213 ABC	221 BC	177 C	213 ABC	217 B	159 B	305 BC	259 B	303 C
+Cu	1.014 B	565 BC	134 C	245 B	899 BC	312 C	211 ABC	184 BC	217 BC	147 BC	146 B	194 B	328 BC	227 B	275 CD
+Fe	977 B	362 C	131 C	207 B	810 C	233 C	180 BC	137 C	223 BC	116 C	144 B	161 B	232 C	192 B	231 D
+Mn	1.586 AB	556 BC	220 BC	255 B	738 C	298 C	173 C	194 BC	268 BC	151 BC	207 B	231 B	257 C	245 B	299 C
+Zn	2.318 A	1423 A	597 A	952 A	2.037 A	899 A	386 A	695 A	631 A	360 A	793 A	721 A	897 A	865 A	844 A
+M	1.460 AB	917 AB	402 AB	595 A	1.747 AB	731 AB	367 AB	365 AB	421 AB	301 AB	616 A	507 A	562 AB	612 A	598 B
Média	1.309 a	649 b	224 gh	343 cde	1.045 a	396 c	243 fgh	245 fgh	270 defg	187 h	267 efg	264 cd	369 cd	314 cdef	362

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU- Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 6A. Produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados no segundo cultivo sucessivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Matéria Seca, em g -----															
-M	7,56 A	6,62 A	5,34 C	6,73 AB	6,14 A	6,33 AB	7,86 A	5,61 C	7,70 A	8,95 A	6,79 AB	7,49 A	10,68 A	8,16 AB	7,18 CD
+B	7,77 A	6,52 A	5,62 BC	5,87 B	7,46 A	6,87 AB	7,40 A	5,44 C	7,63 A	8,70 A	6,52 AB	7,34 A	10,35 A	9,12 AB	7,23 BCD
+Cu	8,39 A	7,44 A	7,57 AB	7,21 AB	7,00 A	5,34 B	8,40 A	8,39 AB	8,02 A	8,75 A	7,49 AB	6,68 A	10,95 A	9,50 AB	7,85 AB
+Fe	7,81 A	7,30 A	6,70 ABC	6,45 AB	8,04 A	8,42 A	9,52 A	6,58 BC	7,96 A	8,63 A	6,24 B	6,31 A	11,14 A	8,34 AB	7,72 ABC
+Mn	7,40 A	6,21 A	5,30 C	6,73 AB	6,84 A	7,24 AB	8,30 A	5,64 C	7,13 A	9,79 A	6,04 B	8,10 A	9,16 A	9,08 AB	7,25 BCD
+Zn	7,22 A	7,21 A	5,41 C	5,73 B	6,44 A	6,79 AB	8,11 A	5,82 C	7,62 A	8,70 A	6,44 AB	7,77 A	9,39 A	7,70 B	7,10 D
+M	6,87 A	6,82 A	7,96 A	8,62 A	6,63 A	7,57 A	7,81 A	9,08 A	8,56 A	10,02 A	8,70 A	7,85 A	10,41 A	10,95 A	8,33 A
Média	7,56 cde	6,86 defg	6,20 g	6,71 efg	6,91 defg	6,89 defg	8,18 bc	6,54 fg	7,79 cd	9,07 ab	6,84 defg	7,34 cdef	10,27 a	8,93 b	7,51
----- Teor de B, em mg/kg -----															
-M	27 A	33 A	30 A	31 A	25 A	20 B	24 A	39 A	33 A	27 A	25 A	28 A	25 A	27 A	28 A
+B	35 A	38 A	29 A	38 A	26 A	23 AB	33 A	49 A	38 A	39 A	33 A	27 A	33 A	32 A	33 A
+Cu	25 A	30 A	25 A	28 A	24 A	43 A	23 A	29 A	34 A	35 A	33 A	32 A	31 A	29 A	30 A
+Fe	25 A	27 A	28 A	27 A	23 A	36 AB	20 A	39 A	31 A	29 A	31 A	37 A	23 A	25 A	28 A
+Mn	29 A	29 A	29 A	26 A	19 A	31 AB	23 A	35 A	34 A	27 A	20 A	34 A	35 A	24 A	28 A
+Zn	33 A	27 A	25 A	32 A	21 A	31 AB	22 A	39 A	34 A	33 A	28 A	19 A	31 A	32 A	29 A
+M	33 A	33 A	31 A	34 A	25 A	24 AB	28 A	28 A	41 A	20 A	38 A	28 A	34 A	31 A	30 A
Média	29 ab	31 ab	28 ab	31 ab	23 b	29 ab	24 b	36 a	35 a	30 ab	29 ab	29 ab	30 ab	28 ab	29
----- Conteúdo de B, em µg/vaso -----															
-M	205 A	214 A	162 A	211 A	155 A	125 B	190 A	217 A	252 A	237 A	168 AB	208 A	268 A	220 A	199 B
+B	268 A	246 A	162 A	221 A	192 A	161 AB	242 A	266 A	289 A	337 A	214 AB	194 A	337 A	288 A	238 AB
+Cu	212 A	225 A	190 A	202 A	168 A	231 AB	190 A	241 A	273 A	307 A	249 AB	217 A	336 A	280 A	233 AB
+Fe	196 A	199 A	188 A	175 A	184 A	306 A	191 A	253 A	248 A	253 A	191 AB	234 A	260 A	209 A	218 AB
+Mn	213 A	182 A	154 A	174 A	129 A	225 AB	191 A	194 A	239 A	267 A	124 B	275 A	317 A	217 A	200 B
+Zn	242 A	194 A	136 A	186 A	136 A	213 AB	178 A	228 A	262 A	287 A	178 AB	146 A	287 A	244 A	202 B
+M	228 A	222 A	248 A	290 A	163 A	178 AB	215 A	251 A	352 A	204 A	333 A	221 A	352 A	341 A	249 A
Média	222 abc	211 bcd	174 cd	206 bcd	160 d	198 bcd	199 bcd	235 abc	271 ab	267 ab	200 bcd	210 bcd	306 a	253 ab	219

**Quadro 6A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Teor de Cu, em mg/kg -----															
-M	0,57 B	1,00 B	0,22 B	0,24 B	2,50 ABC	1,22 B	4,13 A	0,18 A	0,77 A	0,52 A	0,08 A	0,27 A	0,83 A	5,16 A	0,92 B
+B	0,64 AB	0,92 B	0,24 B	0,19 B	2,30 C	1,29 B	4,96 A	0,11 A	0,78 A	0,57 A	0,08 A	0,45 A	0,86 A	4,48 A	0,94 B
+Cu	1,83 A	2,77 A	1,36 A	1,56 A	5,09 A	3,72 A	6,11 A	0,58 A	1,73 A	1,24 A	0,54 A	0,88 A	1,56 A	5,88 A	2,07 A
+Fe	0,51 B	0,91 B	0,18 B	0,32 B	1,97 C	1,34 B	5,33 A	0,08 A	0,76 A	0,49 A	0,08 A	0,51 A	0,62 A	4,30 A	0,90 B
+Mn	0,49 B	0,86 B	0,23 B	0,34 B	2,89 ABC	1,17 B	5,25 A	0,09 A	0,88 A	0,51 A	0,11 A	0,53 A	0,95 A	4,42 A	0,97 B
+Zn	0,71 AB	0,85 B	0,13 B	0,46 AB	2,33 BC	1,37 B	5,09 A	0,08 A	0,67 A	0,31 A	0,18 A	0,26 A	0,84 A	4,52 A	0,91 B
+M	1,59 AB	2,61 A	0,81 AB	1,41 A	4,82 AB	3,49 A	6,21 A	0,74 A	1,08 A	0,61 A	0,36 A	0,70 A	1,73 A	5,35 A	1,80 A
Média	0,85 defg	1,30 cd	0,40 hij	0,57 fghi	2,98 b	1,78 c	5,26 a	0,24 j	0,93 def	0,59 efgh	0,19 j	0,50 ghij	1,02 de	4,85 a	1,17
----- Conteúdo de Cu, em µg/vaso -----															
-M	4,31 BC	6,60 ABC	1,15 B	1,54 B	15,05 A	7,06 B	31,07 A	0,87 BC	5,85 A	4,52 AB	0,55 B	1,85 A	8,64 A	41,63 A	5,17 B
+B	4,58 BC	6,01 BC	0,98 B	1,08 B	17,03 A	8,11 B	36,56 A	0,59 C	5,96 A	4,88 AB	0,50 B	3,29 A	8,91 A	40,28 A	5,34 B
+Cu	15,05 A	20,21 A	10,22 A	11,14 A	35,35 A	19,68 AB	50,97 A	4,29 AB	13,24 A	10,52 A	4,02 A	5,83 A	16,96 A	55,80 A	14,70 A
+Fe	3,64 BC	6,27 BC	1,18 B	1,73 B	15,70 A	10,75 AB	50,19 A	0,48 C	5,88 A	4,03 AB	0,53 B	3,19 A	6,83 A	35,50 A	5,39 B
+Mn	2,98 C	5,31 C	1,15 B	1,85 B	19,03 A	8,03 B	43,19 A	0,51 C	6,18 A	4,83 AB	0,64 B	4,04 A	8,60 A	39,76 A	5,52 B
+Zn	5,12 ABC	6,09 BC	0,61 B	2,21 B	14,72 A	8,86 AB	41,33 A	0,42 C	5,08 A	2,60 B	1,00 AB	2,06 A	7,86 A	34,27 A	5,05 B
+M	10,92 AB	17,60 AB	6,37 A	11,68 A	31,64 A	25,11 A	48,47 A	6,32 A	8,90 A	6,08 AB	2,93 AB	5,42 A	17,95 A	58,46 A	13,14 A
Média	5,75 def	8,47 cd	2,08 hi	3,12 gh	20,01 b	11,25 c	42,54 a	1,33 i	6,96 cde	5,00 efg	1,18 i	3,45 fgh	10,17 c	42,85 a	7,05
----- Teor de Fe, em mg/kg -----															
-M	274 A	147 A	224 A	375 AB	144 A	140 A	147 A	251 B	218 A	170 A	258 A	179 A	164 A	288 A	203 B
+B	281 A	145 A	219 A	335 AB	144 A	129 A	148 A	440 AB	248 A	169 A	253 A	235 A	130 A	219 A	207 B
+Cu	216 A	133 A	156 A	216 B	119 A	136 A	136 A	239 B	221 A	160 A	262 A	175 A	159 A	276 A	179 B
+Fe	432 A	170 A	254 A	537 A	169 A	223 A	175 A	567 A	270 A	204 A	302 A	264 A	180 A	352 A	269 A
+Mn	260 A	134 A	178 A	426 AB	147 A	161 A	140 A	301 AB	223 A	179 A	204 A	223 A	165 A	312 A	206 B
+Zn	216 A	138 A	187 A	388 AB	138 A	149 A	135 A	362 AB	235 A	170 A	212 A	220 A	160 A	277 A	201 B
+M	260 A	176 A	217 A	312 AB	157 A	220 A	140 A	309 AB	313 A	172 A	173 A	243 A	171 A	291 A	217 B
Média	270 abc	148 fg	203 cdef	358 a	145 g	162 efg	145 g	338 a	245 bc	174 defg	234 bcd	218 bcde	161 efg	285 ab	210

**Quadro 6A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Conteúdo de Fe, em µg/vaso -----															
-M	2.072 AB	968 A	1.196 A	2.524 AB	884 A	883 AB	1.159 A	1.405 B	1.676 A	1.524 A	1.751 A	1.339 A	1.751 A	2.345 A	1.454 C
+B	2.182 AB	947 A	1.230 A	1.963 AB	1.076 A	882 AB	1.097 A	2.388 AB	1.890 A	1.473 A	1.648 A	1.724 A	1.349 A	1.997 A	1.489 BC
+Cu	1.813 AB	989 A	1.179 A	1.555 B	830 A	725 B	1.140 A	1.999 AB	1.769 A	1.399 A	1.957 A	1.171 A	1.738 A	2.619 A	1.405 C
+Fe	3.370 A	1.243 A	1.702 A	3.460 A	1.358 A	1.876 A	1.664 A	3.721 A	2.147 A	1.756 A	1.884 A	1.664 A	2.002 A	2.938 A	2.073 A
+Mn	1.918 AB	833 A	9.39 A	2.863 AB	1.005 A	1.163 AB	1.161 A	1.696 B	1.593 A	1.750 A	1.229 A	1.803 A	1.511 A	2.832 A	1.488 BC
+Zn	1.557 B	991 A	1.009 A	2.222 AB	887 A	1.014 AB	1.091 A	2.106 AB	1.787 A	1.481 A	1.365 A	1.707 A	1.497 A	2.129 A	1.424 C
+M	1.782 AB	1.196 A	1.725 A	2.691 AB	1.037 A	1.669 A	1.091 A	2.799 AB	2.674 A	1.726 A	1.504 A	1.901 A	1.779 A	3.182 A	1.805 AB
Média	2.040 abc	1.015 f	1.252 def	2.398 a	999 f	1.111 f	1.188 ef	2.200 ab	1.907 abc	1.581 cde	1.600 bcde	1.596 bcde	1.648 bcd	2.545 a	1.576
----- Teor de Mn, em mg/kg -----															
-M	26 BC	27 B	72 AB	52 AB	70 AB	212 A	1.508 A	35 AB	90 AB	51 A	36 ABC	70 B	720 A	1.959 A	110 B
+B	30 BC	26 B	63 AB	56 AB	70 AB	233 A	1.662 A	37 AB	83 AB	47 A	32 BC	67 B	631 AB	1.661 A	107 B
+Cu	24 C	26 B	65 AB	53 AB	64 AB	340 A	1.843 A	21 B	71 B	61 A	26 C	86 AB	344 BC	1.571 A	100 B
+Fe	16 C	27 B	72 AB	50 AB	65 AB	221 A	1.418 A	45 AB	67 B	57 A	32 BC	66 B	295 C	1.367 A	95 B
+Mn	52 AB	73 A	114 AB	90 A	115 AB	306 A	1.886 A	62 A	127 AB	87 A	73 A	154 A	379 ABC	1.775 A	168 A
+Zn	25 BC	26 B	60 B	38 B	55 B	167 A	1.655 A	43 AB	108 AB	59 A	31 BC	79 AB	422 ABC	1.674 A	101 B
+M	72 A	82 A	126 A	93 A	132 A	272 A	1.742 A	62 A	154 A	83 A	65 AB	127 AB	372 ABC	1.572 A	170 A
Média	31 f	36 f	78 de	59 e	78 de	244 c	1.666 a	41 f	96 d	62 e	39 f	88 d	431 b	1.645 a	118
----- Conteúdo de Mn, em µg/vaso -----															
-M	199 BC	179 B	384 B	350 BC	427 AB	1.337 A	11.858 A	197 B	694 AB	457 A	242 BC	526 BC	7.688 A	15.980 A	782 B
+B	236 ABC	168 B	354 B	327 BC	525 AB	1.599 A	12.301 A	201 B	629 AB	406 A	206 BC	493 BC	6.530 AB	15.144 A	768 B
+Cu	200 BC	194 B	494 AB	383 ABC	450 AB	1.808 A	15.494 A	175 B	568 B	532 A	192 C	576 ABC	3.767 AB	14.921 A	780 B
+Fe	124 C	194 B	485 AB	324 BC	522 AB	1.853 A	13.496 A	292 AB	531 B	492 A	199 BC	415 C	3.281 B	11.397 A	728 B
+Mn	387 AB	453 A	601 AB	605 AB	790 AB	2.217 A	15.646 A	350 AB	904 AB	852 A	438 AB	1.242 A	3.469 AB	16.111 A	1.210 A
+Zn	181 BC	190 B	322 B	218 C	357 B	1.134 A	13.420 A	251 AB	821 AB	511 A	197 BC	609 ABC	3.959 AB	12.884 A	712 B
+M	494 A	557 A	998 A	797 A	872 A	2.055 A	13.597 A	559 A	1.318 A	828 A	566 A	993 AB	3.867 AB	17.197 A	1.410 A
Média	236 g	246 g	485 ef	395 f	538 def	1.675 c	13.623 a	268 g	746 d	561 de	265 g	645 de	4.420 b	14.680 a	882

**Quadro 6A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
	----- Teor de Zn, em mg/kg -----														
-M	72 A	31 BC	26 BCD	23 BC	33 ABC	18 C	31 A	22 BC	16 BC	16 B	14 BC	11 B	23 BC	21 BC	23 C
+B	76 A	31 ABC	24 BCD	24 BC	30 ABC	21 C	28 A	23 BC	17 BC	18 B	11 C	10 B	22 BC	22 ABC	23 C
+Cu	53 A	26 C	13 D	15 C	28 ABC	22 BC	27 A	16 C	12 C	15 B	8 C	11 B	20 BC	22 BC	18 D
+Fe	60 A	35 ABC	21 CD	25 BC	26 BC	20 C	22 A	21 BC	14 C	16 B	13 BC	12 B	14 C	17 C	21 CD
+Mn	51 A	32 ABC	29 ABC	35 AB	24 C	19 C	20 A	22 BC	17 BC	18 B	13 BC	16 B	19 BC	21 BC	23 C
+Zn	88 A	61 A	53 A	69 A	52 A	42 AB	29 A	61 A	52 A	41 A	36 A	43 A	46 A	41 AB	49 A
+M	57 A	55 AB	45 AB	39 AB	50 AB	50 A	29 A	32 AB	31 AB	27 AB	24 AB	39 A	30 AB	44 A	38 B
Média	64 a	37 b	28 bcd	30 bcd	33 bc	25 cde	26 cde	26 cde	20 ef	20 ef	15 f	17 f	23 de	25 cde	26
	----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----														
-M	548 A	203 B	139 BC	152 CD	200 A	112 C	242 A	122 C	123 C	144 B	95 B	85 B	247 AB	173 BC	163 B
+B	592 A	202 B	134 C	138 CD	223 A	141 BC	205 A	126 C	129 BC	154 B	74 B	76 B	223 AB	204 BC	163 B
+Cu	443 A	192 B	102 C	111 D	199 A	117 C	225 A	131 C	97 C	128 B	59 B	71 B	215 AB	205 BC	143 B
+Fe	471 A	254 AB	142 BC	162 BCD	210 A	172 BC	207 A	137 BC	109 C	138 B	81 B	77 B	160 B	146 C	158 B
+Mn	375 A	201 B	153 BC	237 ABC	162 A	138 BC	164 A	125 C	124 C	179 AB	80 B	133 A	172 B	191 BC	164 B
+Zn	636 A	439 A	285 AB	394 A	336 A	287 AB	232 A	358 A	396 A	355 A	235 A	332 A	433 A	313 AB	347 A
+M	389 A	375 AB	355 A	336 AB	330 A	378 A	226 A	287 AB	263 AB	268 AB	208 A	303	312 AB	483 A	315 A
Média	485 a	253 b	170 def	198 bcde	229 bcd	174 cde	213 bcde	167 def	155 ef	182 cde	104 g	125 fg	239 bc	227 bcd	195

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférico. Localidades: AC – Abre Campo; CU- Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**Quadro 7A. Produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em função dos tratamentos (TRAT) e solos utilizados no terceiro cultivo sucessivo**

TRAT	SOLO <sup>(1)</sup>														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Matéria Seca, em g -----															
-M	12,49 A	9,83 AB	7,02 B	8,43 C	13,92 A	13,05 A	15,68 A	5,01 B	12,64 A	12,56 A	9,17 BC	11,84 A	15,39 A	14,26 A	11,08 B
+B	10,87 A	11,15 AB	7,18 B	8,87 BC	12,09 A	12,20 A	15,33 A	5,75 B	13,89 A	12,43 A	7,98 C	9,99 A	16,19 A	13,94 A	10,89 B
+Cu	11,99 A	10,59 AB	12,49 A	13,15 A	11,63 A	13,55 A	14,58 A	9,66 A	12,43 A	13,36 A	12,24 AB	11,81 A	16,76 A	15,22 A	12,71 A
+Fe	11,09 A	10,87 AB	7,54 B	6,86 C	12,68 A	12,09 A	14,42 A	4,80 B	10,81 A	13,81 A	7,40 C	11,57 A	14,71 A	14,06 A	10,46 B
+Mn	11,56 A	11,89 A	7,56 B	7,42 C	12,73 A	11,65 A	13,75 A	4,86 B	11,66 A	11,66 A	7,12 C	12,28 A	16,59 A	13,68 A	10,58 B
+Zn	11,17 A	8,49 B	7,97 B	6,73 C	13,72 A	11,79 A	15,00 A	5,42 B	12,75 A	11,79 A	6,81 C	13,14 A	17,04 A	14,42 A	10,64 B
+M	12,81 A	11,88 A	12,48 A	11,90 AB	13,36 A	12,55 A	14,47 A	10,58 A	12,36 A	13,59 A	12,56 A	13,29 A	15,77 A	13,53 A	12,89 A
Média	11,69 cd	10,61 d	8,66 e	8,80 e	12,85 bc	12,40 c	14,73 a	6,29 f	12,34c	12,72 bc	8,81 e	11,95 cd	16,05 a	14,15 ab	11,28
----- Teor de B, em mg/kg -----															
-M	11 AB	15 A	19 A	17 A	10 A	16 A	12 A	21 A	15 A	13 A	12 A	12 A	13 A	10 A	14 AB
+B	21 A	20 A	17 A	16 A	12 A	13 A	15 A	22 A	14 A	11 A	18 A	15 A	12 A	12 A	15 A
+Cu	17 AB	12 A	7 B	13 A	7 A	10 A	11 A	14 A	13 A	11 A	11 A	14 A	10 A	9 A	11 B
+Fe	13 AB	15 A	15 AB	12 A	13 A	15 A	11 A	21 A	15 A	9 A	14 A	13 A	16 A	9 A	13 AB
+Mn	10 B	10 A	14 AB	12 A	13 A	16 A	16 A	17 A	12 A	13 A	15 A	11 A	12 A	15 A	13 AB
+Zn	18 AB	14 A	17 A	20 A	11 A	12 A	12 A	17 A	15 A	14 A	14 A	11 A	12 A	14 A	14 AB
+M	19 AB	14 A	14 AB	21 A	15 A	14 A	12 A	15 A	19 A	13 A	12 A	18 A	13 A	13 A	15 A
Média	15 ab	14 ab	14 ab	15 ab	11 b	14 ab	13 b	18 a	14 ab	12 b	14 ab	13 ab	12 b	11 b	14
----- Conteúdo de B, em µg/vaso -----															
-M	133 AB	146 A	135 A	142 AB	141 AB	204 A	187 A	102 A	185 A	168 A	108 A	144 A	204 A	138 A	149 B
+B	227 AB	223 A	120 A	140 AB	142 AB	161 A	233 A	127 A	191 A	138 A	144 A	146 A	186 A	164 A	163 AB
+Cu	199 AB	128 A	93 A	171 AB	77 B	135 A	160 A	137 A	163 A	152 A	129 A	159 A	169 A	136 A	140 B
+Fe	149 AB	160 A	114 A	81 B	170 A	177 A	158 A	100 A	163 A	121 A	104 A	150 A	233 A	132 A	139 B
+Mn	112 B	116 A	105 A	90 B	169 A	187 A	222 A	84 A	134 A	156 A	107 A	140 A	192 A	204 A	138 B
+Zn	198 AB	119 A	134 A	131 AB	144 AB	145 A	175 A	92 A	187 A	168 A	97 A	144 A	210 A	195 A	148 B
+M	243 A	170 A	169 A	249 A	204 A	174 A	167 A	154 A	229 A	173 A	150 A	236 A	200 A	180 A	190 A
Média	174 ab	148 abcde	122 cde	135 bcde	144 abcde	168 abc	184 ab	111 e	177 ab	153 abcde	118 de	157 abcd	198 a	162 abcd	152

**Quadro 7A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Teor de Cu, em mg/kg -----															
-M	0,91 AB	0,33 B	0,23 B	0,15 A	1,67 B	0,87 B	3,41 A	0,22 A	0,39 A	0,48 A	0,14 A	0,33 A	0,80 AB	7,17 A	0,82 C
+B	0,64 AB	0,49 B	0,26 B	0,17 A	1,37 B	1,44 AB	4,10 A	0,15 A	0,35 A	0,53 A	0,09 A	0,40 A	0,91 AB	7,41 A	0,87 C
+Cu	1,61 A	2,26 A	2,26 A	0,78 A	4,10 A	2,74 A	5,08 A	0,95 A	1,21 A	0,74 A	0,63 A	0,99 A	1,82 A	6,35 A	1,89 A
+Fe	0,29 B	0,42 B	0,28 B	0,16 A	1,39 B	1,25 AB	3,96 A	0,27 A	0,59 A	0,35 A	0,07 A	0,37 A	0,80 AB	3,91 A	0,75 C
+Mn	0,53 AB	0,55 B	0,22 B	0,19 A	1,47 B	1,21 AB	4,43 A	0,29 A	0,67 A	0,37 A	0,09 A	0,21 A	0,89 AB	6,04 A	0,84 C
+Zn	0,37 B	0,91 AB	0,25 B	0,16 A	1,09 B	0,88 B	4,19 A	0,18 A	0,58 A	0,35 A	0,18 A	0,18 A	0,58 B	6,15 A	0,78 C
+M	1,03 AB	1,78 A	0,84 B	0,58 A	2,64 AB	1,97 AB	4,93 A	0,60 A	0,91 A	0,78 A	0,46 A	1,03 A	1,35 AB	5,12 A	1,43 B
Média	0,72 efg	0,86 ef	0,51 fghi	0,30 hi	1,83 c	1,41 cd	4,27 b	0,35 ghi	0,65 efg	0,51 fghi	0,22 i	0,47 fghi	0,99 de	5,93 a	1,02
----- Conteúdo de Cu, em µg/vaso -----															
-M	8,08 ABC	2,91 C	1,42 B	0,96 B	22,77 AB	10,66 B	52,02 A	1,07 B	4,44 B	5,96 A	1,22 B	3,78 BC	12,12 AB	102,11 A	6,74 C
+B	6,56 ABC	4,79 C	1,80 B	1,11 B	16,15 AB	17,45 AB	62,81 A	0,83 B	4,69 AB	6,38 A	0,71 B	3,92 BC	14,65 AB	102,87 A	7,13 C
+Cu	19,20 A	23,82 A	27,55 A	9,71 A	47,47 A	36,85 A	73,29 A	8,83 A	14,95 A	9,50 A	7,75 A	11,45 AB	30,51 A	96,29 A	21,98 A
+Fe	2,64 C	3,71 C	1,77 B	0,87 B	17,48 AB	14,88 AB	56,44 A	1,22 B	6,28 AB	4,52 A	0,54 B	4,11 ABC	11,57 AB	54,77 A	6,04 C
+Mn	5,04 BC	5,17 C	1,52 B	0,92 B	18,26 AB	14,06 AB	60,29 A	1,39 B	7,68 AB	4,11 A	0,64 B	2,56 C	14,53 AB	82,28 A	6,70 C
+Zn	3,45 BC	7,72 BC	1,39 B	0,84 B	12,93 B	10,16 B	61,99 A	0,91 B	7,35 AB	4,16 A	1,20 B	2,33 C	9,42 B	88,65 A	6,17 C
+M	10,27 AB	21,01 AB	9,61 A	6,30 A	33,90 AB	24,33 AB	70,91 A	6,11 A	11,17 AB	10,54 A	5,78 A	13,38 A	21,22 AB	69,15 A	16,12 B
Média	6,65 c	7,47 c	3,44 de	1,99 ef	22,01 b	16,73 b	62,16 a	2,09 ef	7,48 c	6,10 c	1,77 f	4,92 cd	15,20 b	83,37 a	8,94
----- Teor de Fe, em mg/kg -----															
-M	111 A	73 A	133 A	240 A	62 A	55 A	77 A	345 A	119 A	129 A	165 B	129 AB	102 A	238 A	123 AB
+B	113 A	86 A	133 A	138 A	60 A	59 A	88 A	205 AB	96 A	107 A	255 AB	222 A	97 A	145 A	117 ABC
+Cu	104 A	70 A	75 A	171 A	57 A	63 A	80 A	225 AB	102 A	133 A	149 B	91 B	78 A	144 A	102 C
+Fe	126 A	95 A	133 A	240 A	65 A	89 A	91 A	411 A	186 A	110 A	411 A	108 AB	100 A	124 A	138 A
+Mn	98 A	83 A	101 A	172 A	61 A	58 A	89 A	295 A	138 A	143 A	415 A	92 B	87 A	155 A	121 ABC
+Zn	107 A	75 A	97 A	168 A	58 A	85 A	87 A	339 A	135 A	180 A	262 AB	104 B	92 A	176 A	124 AB
+M	98 A	71 A	95 A	145 A	60 A	79 A	97 A	135 B	90 A	123 A	125 B	88 B	114 A	155 A	102 BC
Média	108 efg	78 ghi	107 efg	178 bc	61 i	69 hi	87 fgh	264 a	120 de	130 cde	231 ab	113 ef	95 efg	159 cd	118

**Quadro 7A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Conteúdo de Fe, em µg/vaso -----															
-M	1.381 A	716 A	930 A	2.020 A	870 A	716 A	1.200 A	1.723 A	1.509 A	1.611 A	1.512 A	1.522 A	1.564 A	3.395 A	1.356 A
+B	1.223 A	959 A	957 A	1.221 A	723 A	714 A	1.346 A	1.177 A	1.337 A	1.324 A	2.034 A	2.218 A	1.568 A	2.014 A	1.270 A
+Cu	1.249 A	734 A	936 A	2.248 A	659 A	859 A	1.161 A	2.169 A	1.273 A	1.780 A	1.815 A	1.074 A	1.302 A	2.185 A	1.288 A
+Fe	1.394 A	1.027 A	1.000 A	1.644 A	824 A	1.075 A	1.318 A	1.971 A	2.007 A	1.518 A	3.034 A	1.249 A	1.477 A	1.737 A	1.437 A
+Mn	1.137 A	992 A	764 A	1.277 A	783 A	679 A	1.218 A	1.434 A	1.608 A	1.671 A	2.950 A	1.134 A	1.442 A	2.114 A	1.269 A
+Zn	1.196 A	634 A	772 A	1.131 A	798 A	1.007 A	1.303 A	1.835 A	1.718 A	2.117 A	1.778 A	1.372 A	1.567 A	2.540 A	1.312 A
+M	1.253 A	841 A	1.183 A	1.722 A	807 A	993 A	1.401 A	1.424 A	1.109 A	1.678 A	1.569 A	1.172 A	1.794 A	2.092 A	1.311 A
Média	1.259 cd	831 e	925 de	1.562 bc	778 e	850 e	1.276 cd	1.644 abc	1.483 bc	1.656 abc	2.024 ab	1.352 c	1.524 bc	2.250 a	1.319
----- Teor de Mn, em mg/kg -----															
-M	28 ABC	22 B	84 A	68 A	87 AB	179 A	1.854 A	41 AB	59 B	75 A	26 B	72 A	315 A	1.377 A	104 B
+B	21 BC	28 B	70 A	66 A	77 B	231 A	1.946 A	37 AB	83 AB	85 A	34 AB	69 A	345 A	1.197 A	107 B
+Cu	20 C	34 B	75 A	45 A	64 B	206 A	1.896 A	28 B	89 AB	84 A	30 AB	76 A	324 A	1.167 A	101 B
+Fe	18 C	33 B	66 A	54 A	71 B	176 A	1.673 A	29 B	104 AB	119 A	27 B	62 A	380 A	1.155 A	102 B
+Mn	56 A	88 A	99 A	89 A	108 AB	253 A	1.900 A	74 A	173 A	141 A	60 A	113 A	322 A	1.227 A	165 A
+Zn	19 C	31 B	70 A	53 A	54 B	183 A	1.922 A	35 B	100 AB	92 A	39 AB	65 A	299 A	1.273 A	103 B
+M	44 AB	86 A	118 A	86 A	171 A	310 A	1.972 A	76 A	115 AB	128 A	61 A	94 A	402 A	1.362 A	168 A
Média	27 h	40 g	82 ef	64 f	84 ef	215 d	1.878 a	43 g	99 e	101 e	37 ef	77 g	339 c	1.248 b	118
----- Conteúdo de Mn, em µg/vaso -----															
-M	355 AB	213 B	586 B	569 AB	1.206 AB	2.337 A	29.056 A	207 BC	742 B	943 A	237 B	845 A	4.841 A	19.631 A	1.133 C
+B	226 B	312 B	505 B	588 AB	935 B	2.811 A	29.828 A	213 BC	1.156 AB	1.060 A	270 B	686 A	5.577 A	16.684 A	1.154 C
+Cu	243 B	362 B	941 AB	597 AB	745 B	2.789 A	27.630 A	273 BC	1.105 AB	1.122 A	360 AB	897 A	5.424 A	17.766 A	1.275 C
+Fe	201 B	357 B	497 B	370 B	894 B	2.121 A	24.118 A	139 C	1.121 AB	1.637 A	201 B	716 A	5.591 A	16.235 A	1.052 C
+Mn	649 A	1.046 A	750 AB	660 AB	1.374 AB	2.946 A	26.123 A	360 AB	2.010 A	1.647 A	425 AB	1.388 A	5.338 A	16.790 A	1.735 B
+Zn	207 B	267 B	560 B	356 B	741 B	2.157 A	28.833 A	188 BC	1.276 AB	1.081 A	266 B	857 A	5.079 A	18.353 A	1.078 C
+M	562 A	1.018 A	1.469 A	1.024 A	2.283 A	3.888 A	28.520 A	808 A	1.424 AB	1.740 A	759 A	1.245 A	6.325 A	18.427 A	2.160 A
Média	313 ij	424 hi	704 fg	562 gh	1.083 e	2.667 d	27.666 a	265 j	1.214 e	1.282 e	327 ij	918 ef	5.437 c	17.663 b	1.323

**Quadro 7A, Cont.**

TRAT	SOLO														Média
	LVA-AC	C-CU	LVA-EG	CI-FO	C-VII	LVA-VII	RU-SF	LVA-BA	LV-BO	LV-BII	LV-CO	LVA-BV	LV-SL	LVdf-SSP	
----- Teor de Zn, em mg/kg -----															
-M	55 AB	18 C	28 B	18 BC	29 AB	14 BC	14 B	27 B	11 BC	9 BC	15 AB	11 B	9 AB	11 C	17 C
+B	62 AB	23 C	28 B	20 BC	19 B	15 BC	14 B	25 BC	9 BC	10 ABC	10 B	9 B	8 B	10 C	16 CD
+Cu	43 AB	20 C	14 C	12 C	27 AB	15 BC	14 B	13 C	8 C	9 BC	8 B	8 B	10 AB	10 C	13 D
+Fe	37 B	21 C	22 BC	24 BC	21 B	13 BC	16 B	29 B	10 BC	9 BC	11 B	11 B	9 AB	9 C	16 CD
+Mn	41 AB	28 BC	22 BC	16 C	19 B	12 C	22 AB	27 B	9 BC	6 BC	11 B	9 B	9 AB	14 BC	15 CD
+Zn	76 A	59 A	70 A	50 A	43 A	35 A	32 A	60 A	26 A	19 A	29 A	26 A	17 A	34 A	37 A
+M	50 AB	51 AB	34 B	33 AB	35 AB	26 AB	22 AB	28 B	17 AB	16 AB	13 B	22 A	18 A	28 AB	26 B
Média	51 a	29 b	28 b	22 bc	27 b	17 cd	18 cd	27 b	12 ef	11 f	13 ef	12 ef	11 ef	15 de	19
----- Conteúdo de Zn, em µg/vaso -----															
-M	687 A	181 C	198 C	148 C	404 AB	188 BC	222 B	135 C	135 BC	116 AB	134 AB	125 B	140 AB	153 C	183 C
+B	669 A	259 BC	203 BC	173 BC	233 B	188 BC	213 B	142 BC	120 BC	128 AB	81 B	89 B	131 B	145 C	170 C
+Cu	516 A	205 C	174 C	160 BC	313 AB	199 ABC	205 B	125 C	98 C	126 AB	100 AB	92 B	161 AB	151 C	167 C
+Fe	413 A	231 C	164 C	166 BC	263 B	160 BC	228 B	139 C	102 BC	122 AB	83 B	125 B	136 B	121 C	160 C
+Mn	478 A	334 ABC	167 C	119 C	241 B	143 C	308 AB	130 C	105 BC	68 B	79 B	104 B	147 AB	191 BC	160 C
+Zn	846 A	502 AB	562 A	337 AB	591 A	411 A	483 A	324 A	326 A	229 A	194 A	338 A	290 A	492 A	394 A
+M	643 A	600 A	425 AB	395 A	472 AB	321 AB	322 AB	299 AB	210 AB	218 A	161 AB	293 A	274 AB	375 AB	333 B
Média	592 a	301 bc	240 cde	195 efg	340 b	215 def	270 bcd	171 fgh	142 ghi	134 hi	112 i	145 ghi	173 fgh	203 def	209

<sup>(1)</sup> Solos: LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; C – Cambissolo; CI – Cambissolo latossólico; RU – Neossolo Flúvico; LV – Latossolo Vermelho; LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico. Localidades: AC – Abre Campo; CU- Cururu; EG – Egas; FO – Fonseca; VII – Valéria II; SF – Santa Fé; BA – Batinga; BO – Borges; BII – Babilônia II; CO – Correntinho I; BV – Boa Vista IV; SL – Sete Lagoas; SSP – São Sebastião do Paraíso; e JP – João Pinheiro. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.