

JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS NETO

**TAXAS DE RECUPERAÇÃO DE ZINCO, COBRE E BORO POR
DIFERENTES EXTRATORES EM SOLOS DA BAHIA E 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 *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

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

T

S237t
2003

Santos Neto, José Augusto dos, 1979-

Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por dife-
rentes extratores em solos da Bahia e de Minas Gerais /
José Augusto dos Santos Neto. – Viçosa : UFV, 2003.

51p. : il.

Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa

1. Solos - Fertilidade. 2. Solos - Teor de micronutrien-
tes. 3. Calagem dos solos. 4. Extração (Química). 5.

FERTICALC (Programa de computador). I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.422

CDD 20.ed. 631.422

JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS NETO

**TAXAS DE RECUPERAÇÃO DE ZINCO, COBRE E BORO POR
DIFERENTES EXTRATORES EM SOLOS DA BAHIA E 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 *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de junho 2003.

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes

Prof. Luiz Eduardo Dias

Prof. Hermínia Emília Prieto Martinez

Prof. Víctor Hugo Alvarez V.
(Presidente da banca)

À Maria Aparecida Augusto Valete (*In memoriam*)

Aos meus pais, José Augusto e Lourdes

Às minhas irmãs, Dilma , Mara e Maria

À Jean, Júnior e Luan

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo, sempre.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, que me concedeu a oportunidade para realização do curso de mestrado.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Renildes Fontes, Júlio Neves e Víctor Hugo pelos ensinamentos e sugestões que enriqueceram este trabalho.

Ao professor Maurício Fontes pelo apoio e pelas sugestões.

A professora e amiga Agna Menezes pelo estímulo, pela confiança, pelas críticas e pela colaboração durante a realização deste trabalho, como também, por está presente na superação das dificuldades surgidas durante a realização deste curso.

Aos meus familiares pela harmonia de viver com alegria e por serem fieis companheiros.

Ao professor José Olímpio e aos meus tios Carlos Augusto e Nelson Eduvirgens pela colaboração na disponibilidade e na coleta dos solos em campo.

À Helena e sua família por ter ajudado a superar as dificuldades e por ter tido paciência e compreensão nos momentos distantes em que vivemos.

Ao estudante de graduação Arlindo Ferreira pela colaboração durante a fase experimental e pela amizade.

Aos amigos Felipe Andrade e Karina pelo acolhimento e estímulo na fase final deste trabalho.

Aos amigos Marco Antonio, Adilson, Marcelo Metri, Ignácio, Rodinei, Juliano Possamai, Maurício Leal, Danusa, Rozane, Eliane, Daniela, João Milagres, Carlos Kurirara, Daniel, Alessandro, Fabrício e Alexandre por estarem presentes nos momentos de alegrias e nos mais difíceis vivenciados em Viçosa.

Aos funcionários Carlos Fonseca, Cláudio, Jorge, Zélia, Carlos Henrique, Luciana, Sônia, Júnia e Ciro que contribuíram para a boa condução do experimento e para o desenvolvimento do curso.

Aos demais professores, funcionários e amigos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desse curso.

BIOGRAFIA

JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS NETO, filho de José Augusto dos Santos Filho e Maria de Lourdes Eduvirgens dos Santos, nasceu em 03 de maio de 1979, em Itabuna-BA.

Em 1996, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus-Ba. Durante o curso atuou como estagiário administrativo do Museu de Geologia e monitor das disciplinas Fertilidade do Solo e Planejamento e uso do Solo. Além disso, foi professor do nível médio e desenvolveu pesquisa na área de Fertilidade e Classificação do Solo.

Em Março de 2001 diplomou-se Agrônomo e no mês seguinte iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2. 1. Zinco	3
2. 2. Cobre	4
2. 3. Boro	6
2. 4. Extratores químicos utilizados na avaliação da disponibilidade de Zn, Cu e B nos solos	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
7. APÊNDICE	50

RESUMO

SANTOS NETO, José Augusto dos, M. S., Universidade Federal de Viçosa, junho 2003. **Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e de Minas Gerais.** Orientador: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Víctor Hugo Alvarez V.

A busca de uma recomendação de adubação mais confiável e as dificuldades de extrapolação da mesma, resultou na criação de sistemas de recomendações de corretivos e adubação mais mecanísticos como, por exemplo, o FERTICALC que demanda informações referentes às taxas de recuperação do nutriente pelo extrator em função das doses adicionadas. Atualmente usam-se valores estimados uma vez que informações baseadas em dados reais são escassas. Nesse sentido, esta pesquisa teve o objetivo de determinar as taxas de recuperação de zinco e cobre pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA e de boro com água fervente e CaCl_2 fervente em quinze solos dos estados da Bahia e Minas Gerais, na ausência e na presença da calagem. Foram instalados três experimentos em casa de vegetação, utilizando tratamentos em esquema fatorial $(6 \times 2 + 9) \times 6$, correspondendo a seis solos com e sem calagem, nove solos sem calagem e seis doses de Zn, Cu e B. Os experimentos foram

conduzidos separadamente para Zn, Cu e B, em blocos casualizados, com três repetições. As unidades experimentais foram constituídas por 0,6 dm³ de solo. A calagem foi calculada com base na análise de solo, seguindo a recomendação de calagem usada para o Estado de Minas Gerais. Após 15 dias de incubação receberam doses de Zn (0; 3; 6; 12; 18 e 30 mg dm⁻³), Cu (0; 2; 4; 8; 12 e 20 mg dm⁻³) e B (0; 1,5; 3; 6; 9 e 15 mg dm⁻³), fazendo-se uma nova incubação por um período de 45 dias. As fontes de Zn, Cu e B foram, respectivamente, ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5 H₂O e H₃BO₃. Terminada a incubação, os teores de Zn e Cu foram determinados com M-1, M-3 e DTPA, dosados por espectrometria de absorção atômica. O B disponível foi extraído com água fervente e CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ fervente sendo a dosagem feita com azometina-H. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente, permitindo alcançar as seguintes conclusões: o Zn e o Cu recuperado pelo M-1, M-3 e o DTPA, e o B extraído do solo com água fervente e o CaCl₂ fervente, independente da calagem, aumenta linearmente com o aumento das doses aplicadas desses nutrientes aos solos. A capacidade de extração do Zn e Cu dos solos segue a seguinte ordem: M-1 > M-3 > DTPA. Os extratores M-3 e o DTPA são mais sensíveis à capacidade tampão (CT) do solo para Zn e Cu. Já para a calagem a sensibilidade é maior para o DTPA. Para o B, a água fervente é mais sensível à CT do solo para o B do que o CaCl₂ fervente. Os extratores água fervente e o CaCl₂ fervente não são sensíveis à calagem. Nos solos com calagem as taxas do Zn e Cu recuperado do solo pelos extratores M-1, M-3 e DTPA em comparação aos solos sem calagem são menores. As taxas de recuperação de Zn, Cu e B dos solos pelos extratores usados variam de acordo com os teores de matéria orgânica, quantidade e qualidade de argila, e pelo equivalente de umidade. Os extratores M-1, M-3 e DTPA foram altamente correlacionados entre si na extração de Zn e Cu, ocorrendo o mesmo com água fervente e o CaCl₂ fervente na extração do B do solo.

ABSTRACT

SANTOS NETO, José Augusto dos, M. S., Universidade Federal de Viçosa, June 2003. **Recovery rates of zinc, copper and boron by different extractors in Bahia and Minas Gerais soils.** Adviser: Renildes Lúcio Ferreira Fontes. Committee members: Júlio César Lima Neves and Víctor Hugo Alvarez V. .

The search for recommending a more reliable fertilization, as well as the difficulties in its extrapolation have been resulted a number of more mechanistic recommendation systems for liming material and fertilization. One of these systems is FERTICALC, that requires information about the nutrient recovery rates by the extractor as a function of the added doses. Today, because the scarceness of information based on real data, the estimated values actually used. So, this study aimed to determine the recovery rates of zinc and copper by the extractors Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) and DTPA, as well as boron by boiling water and boiling CaCl_2 , upon either the absence and presence of liming, in fifteen soils of Bahia and Minas Gerais states. Three experiments were set up under greenhouse conditions, by using the factorial scheme $(6 \times 2 + 9) \times 6$ which corresponded to six soils with and without liming, nine soils without liming and six doses of Zn, Cu and B. The experiments were separately carried out for Zn,

Cu and B. The randomized block design was used, with three replicates. The experimental units consisted of 0.6 dm³ soil. The liming, from which the calculation was based on soil analysis, and following the recommendation for Minas Gerais State. At 15 days under incubation, they were added the doses of Zn (0; 3; 6; 12; 18 and 30 mg/dm³), Cu (0; 2; 4; 8; 12 and 20 mg/dm³) and B (0; 1,5; 3; 6; 9 and 15 mg/dm³); then they were subjected to a new incubation for a 45-day period. The sources of Zn, Cu and B were ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5 H₂O and H₃BO₃, respectively. After incubation, the contents of Zn and Cu were determined with M-1, M-3 and DTPA, which were dosed by atomic absorption spectrometry. The available B was extracted by boiling water and boiling CaCl₂ 5..mmol L⁻¹ , and the dosage was made with azomethine-H. The data were statistically analyzed, and the following conclusions were drawn: the contents of Zn and Cu recovered by M-1, M-3 and DTPA, as well as that of B extracted by boiling water and boiling CaCl₂, independent from liming, are linearly increased as those doses applied to the soils are increased. The extraction capacity for Zn and Cu in the soil follows the order: M-1 > M-3 > DTPA. The extractors M-3 and DTPA are more sensitive to the soil buffer capacity (BC) for Zn and Cu. In liming, however, the sensibility is higher for DTPA. The boiling water is more sensitive to soil BC for B than the boiling CaCl₂. The extractors boiling water and boiling CaCl₂ showed not to be sensitive to liming. In soils with liming, the rates of Zn and Cu recovered from the soil by extractors M-1, M-3 and DTPA are lower, in relation to the soils without liming. The recovery rates of Zn, Cu and B from the soils by the extractors rather vary according to the organic matter contents, clay quantity and quality, and the moisture equivalent. The extractors M-1, M-3 and DTPA were highly correlated to each others in extraction of Zn and Cu, whereas the same occurred for boiling water and boiling CaCl₂ in extraction of B from the soil

1. INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola com o uso de solos altamente intemperizados, o aumento do potencial produtivo das plantas, a utilização intensa de calcário e o uso de fertilizantes com maior pureza contribuíram para a necessidade de utilização de micronutrientes, tanto nas adubações corretivas como nas adubações de manutenção.

Os micronutrientes atuam principalmente na ativação de enzimas envolvidas no crescimento e desenvolvimento das plantas. Embora requeridos em menor quantidade em relação aos macronutrientes, são tão importantes quanto esses para as plantas.

A disponibilidade de um nutriente é expressa pela sua concentração no solo, determinada por um método de extração que se correlaciona estreitamente com o conteúdo do nutriente na planta (Alvarez V.,1995). Os métodos de rotina para determinação do Zn e Cu disponíveis nos solos dos Estados de Minas Gerais e Bahia incluem a extração com Mehlich-1 enquanto que para o B o extrator água fervente.

A recomendação da adubação com micronutrientes deve ser baseada em critérios confiáveis, para evitar custos econômicos desnecessários e possíveis efeitos fitotóxicos. O sucesso da adubação depende da interpretação da análise do solo e da adoção de uma recomendação confiável. A confiabilidade está

relacionada a informações específicas sobre o solo e a cultura, tais como o teor do nutriente disponível no solo, o nível crítico no solo e, a declividade das equações que relaciona o nutriente recuperado em função das doses adicionadas (Alvarez V.,1995).

Os níveis críticos no solo utilizados nas tabelas de recomendação de corretivos e fertilizantes de vários estados do Brasil são obtidos por meio de estudos de calibração e correlação, porém algumas faixas críticas são definidas, utilizando-se o “bom senso” na interpretação das informações. Devido à falta de informações confiáveis e de dificuldades de extrapolação das recomendações, buscam-se modelos mais mecanísticos para dar maior embasamento às recomendações, como por exemplo, o FERTICALC, sistema em que a recomendação de adubação é baseada no balanço entre as quantidades do nutriente em que o solo é capaz de suprir e a demanda pela cultura.

Segundo Novais & Smyth (1999) uma característica positiva do FERTICALC é mostrar as lacunas da pesquisa ou a falta de informações satisfatórias sobre a interpretação de resultados de análise química do solo e recomendação de corretivos e fertilizantes. Dentre as informações necessárias para o desenvolvimento desse sistema estão as taxas de recuperação de um nutriente pelo extrator, uma vez que esses dados são escassos na literatura. Atualmente, para os micronutrientes, utilizam-se estimativas para determinar essas taxas.

O objetivo deste trabalho foi determinar as taxas de recuperação de Zn e Cu pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA e de B com água fervente e cloreto de cálcio fervente em amostras de solos dos estados da Bahia e Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2. 1. Zinco

A crosta terrestre contém em média 220 kg ha^{-1} de Zn na camada arável, dos quais apenas 0,01 % é solúvel, o que significa 6 kg ha^{-1} de Zn disponível para as plantas (Fundação Cargil, 1982). Os solos brasileiros, de maneira geral, são formados a partir de rochas ácidas e, ou, sedimentares pobres em Zn, uma vez que este elemento tem como fonte primária, minerais ferro-magnesianos que são mais encontrados nas rochas básicas (Chesworth, 1991).

O Zn encontra-se no solo na forma trocável, precipitado, adsorvido ou complexado pela matéria orgânica e fixado por óxidos de Fe e Al. A sua disponibilidade para as plantas varia de acordo com o pH, matéria orgânica, teores de fósforo, textura e mineralogia do solo. Lindsay (1991) afirma que o Zn^{2+} predomina na solução do solo quando o pH do solo está abaixo de 7,7, sendo esta a forma mais absorvida pelas plantas. Acima deste pH o ZnOH^+ passa a ser a forma predominante, favorecendo a adsorção com maior energia às cargas negativas do solo. O aumento de pH de 5,0 para 7,0 diminui a disponibilidade de Zn uma vez que aumenta adsorção ao solo e a formação de ligações do Zn com óxidos de Fe amorfos e óxidos de Mn (Sims, 1986). Com o decréscimo de uma unidade de pH, na faixa de 10 a 4,0, observa-se aumento de 100 vezes na concentração de Zn no solo (Lindsay, 1979).

De acordo com Souza e Ferreira (1991), as forças de adsorção do Zn são diferentes em função do tipo de argila e, por ordem decrescente de energia de adsorção, tem-se: vermiculita, montmorilonita, illita e caulinita. Shuman (1977) trabalhando com materiais sintéticos ressaltou que a capacidade de adsorção de Zn pela goethita foi igual à da gibbsita e que a adsorção máxima de Zn ocorreu entre pH 5,0 e 6,0 para ambos os óxidos.

Igue e Bornemisza (1967) relatam que o Zn é adsorvido às superfícies do CaCO_3 e do MgCO_3 . De acordo com os mesmos autores, a retenção do Zn em relação aos outros cátions segue a seguinte ordem: $\text{H} \cong \text{Al} > \text{Zn} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$. Shuman (1986) e Matos et al. (1996) observaram em solos com predominância de caulinita e menores teores de gibbsita e quartzo, que quanto maior a dose de corretivo usado na calagem, menor o teor de Zn trocável e maior o Zn ligado à fração orgânica.

Nascimento (2001) estudando solos de Minas Gerais, com mineralogias distintas, observou que nos solos em que não houve correção da acidez o Zn foi retido principalmente em formas trocáveis e na matéria orgânica. Com a calagem o Zn ficou retido, principalmente, na matéria orgânica e nos óxidos de Fe e Mn, sendo que 67 % do Zn total estava na matéria orgânica. Radhawa e Broadent (1965) mostraram que 70% do Zn estava adsorvido ao ácido húmico em pH 7,0, sendo que a fração menos estável do ácido húmico era aquela associada aos radicais fenólicos e aos carboxílicos fracos.

2. 2. Cobre

Os minerais de Cu apresentam solubilidade elevada, portanto, não se deve esperar a sua persistência em solos, principalmente nas regiões tropicais. Geralmente, no solo, o Cu é encontrado na solução do solo, na forma trocável, adsorvido especificamente, ocluso na matéria orgânica e na estrutura dos minerais (McBride, 1981).

No Brasil, os teores de Cu disponíveis normalmente encontrados nos solos estão na faixa de 0 a 26,5 mg dm⁻³, considerando a variação inerente aos resultados de diversos extratores (Ferreira & Cruz, 1991). Essa disponibilidade é influenciado pelo pH, tendendo a diminuir com a sua elevação, devido à diminuição na solubilidade do elemento na forma de óxidos, aumento da quantidade adsorvida sobre superfícies ou precipitada (Padmanabham,1983), e ainda, maior estabilidade das ligações com a matéria orgânica (Ferreira & Cruz, 1991).

Abaixo de pH 8,0 as formas mais comuns na solução do solo são: Cu²⁺, Cu₂(OH)₂²⁺ e CuOH⁺, sendo a primeira encontrada em maior proporção abaixo de pH 7,3 (Lindsay, 1979). Em solos com pH 4,4, 60 % do Cu estava na forma lábil, mas com o aumento do pH, a concentração dessas formas diminuiu acentuadamente de 12 µg L⁻¹ a quase zero, enquanto que a concentração das formas não lábeis se elevou de 1 para 15 µg L⁻¹ (Ferreira & Cruz, 1991).

O Cu ocorre no solo na forma de complexos orgânicos que são relativamente mais abundantes que os inorgânicos (Ferreira & Cruz, 1991). Os ácidos húmicos ligam-se mais fortemente ao Cu do que os fúlvicos, deixando-o em forma solúvel no solo, uma vez que a força de ligação do Cu aos ácidos húmicos diminui com o aumento do pH, com o grau de humificação e com as doses de Cu aplicadas (Stevenson & Fitch,1981).

McLaren e Crawford (1973) observaram, em 24 solos, que os óxidos de Mn e a matéria orgânica foram os principais responsáveis pela adsorção do Cu, seguidos pelos óxidos de Fe e os minerais de argila, visto que a energia de ligação do Cu a esses componentes do solo decresce na mesma ordem. Para os autores, o processo mais importante que controla a concentração de Cu na solução do solo é a adsorção específica, uma vez que as reações envolvidas no processo são irreversíveis ou muito lentas, podendo requerer alta energia de ativação para que haja dessorção (McLaren et alii, 1983).

Alguns solos de Minas Gerais, sem calagem, apresentaram predominância de Cu ligado à matéria orgânica. Porém, com o aumento do pH,

passaram a predominar as formas adsorvidas, provavelmente por adsorção específica nas frações de óxidos de Fe e Mn que responderam por 27 % do Cu total (Nascimento, 2001).

2. 3. Boro

A reserva natural de B no solo depende do material de origem, pois de acordo com Horowitz e Dantas (1973) solos originados de material calcário, folhelhos e especialmente argilas marinhas, são relativamente ricos em B, contrariamente aos originados de rochas maciças, que sempre são pobres em B.

Segundo com Evans (1987) grande parte do B total do solo está ligado à matéria orgânica, sendo liberado, após a mineralização, para a solução do solo. Em solos alcalinos, com altos teores de B, a fração do elemento que fica adsorvida constitui o reservatório lábil, a partir do qual a concentração de boratos na solução do solo é mantida. Nos solos ácidos e com baixos teores de matéria orgânica o principal reservatório de B são os minerais bórax e turmalina, os quais são vagorosamente intemperizados.

Jin et al. (1987), pesquisando em solos cultivados com milho, em casa de vegetação, sugeriram que o B solúvel em água à temperatura ambiente (B na solução do solo) e o B trocável extraído com CaCl_2 20 mmol L^{-1} (B adsorvido não especificamente) como as frações componentes do fator intensidade do solo. Esses autores sugerem que o B extraído com manitol (B adsorvido especificamente) e o extraível com hidroxilamina (NH_2OHHCl) (B ocluso em óxido de Mn) sejam consideradas como frações componentes do fator quantidade, pois o B ocluso em óxidos de Mn torna-se lentamente disponível para as plantas durante o seu ciclo de vida. Segundo Sims e Bingham (1967), as formas de B ocluso em óxidos de Fe e Al e na rede cristalina dos minerais silicatados do solo, são consideradas formas não lábeis. Porém, Tsadillas et al.

(1994) observaram que as frações de B oclusas em óxidos amorfos de Fe e Al também disponibilizaram B para a oliveira e para a cevada.

A disponibilidade do B no solo depende de algumas características do solo, tais como: pH, matéria orgânica, textura e mineralogia. O B é altamente solúvel sob condições ácidas, sendo que em solos arenosos ácidos e pobres em matéria orgânica, o B solúvel pode ser lixiviado com relativa facilidade. Com valores mais elevados do pH, o B se torna menos disponível, pois ocorre à fixação deste elemento pela argila (Dantas, 1991).

A adsorção máxima de B ocorre próximo a pH 7,0 para os óxidos de Al, a pH 8,5 para os óxidos de Fe e a pH 9,0 para a caulinita (Sims & Bingham, 1967; Camargo, 1991 e Goldberg, 1997). Ribeiro (1974) encontrou adsorção máxima, para alguns solos do Triângulo Mineiro, em pH variando de 7,0 a 9,0. Segundo Dantas (1991) a adsorção do B por esses óxidos, em solos altamente intemperizados, é rápida e reversível.

A forma predominante de B, na solução dos solos ácidos, é o ácido bórico ($B(OH)_3$); com o aumento do pH, o $B(OH)_3$ aceita uma hidroxila e se transforma em borato ($B(OH)_4^-$) que é adsorvido em óxidos de Al e de Fe e, em minerais silicatados da argila (Camargo, 1991).

Hatcher et al. (1967) e Azevedo (2001) observaram que ao elevarem o pH do solo de 5,0 para 7,0, aumentou o B adsorvido, o qual se correlacionou com o Al trocável. Segundo esses autores esse fato é possível devido à potencial formação e precipitação de hidróxido de Al ($Al(OH)_3$), com aplicação do calcário, visto que o $Al(OH)_3$ adsorve grandes quantidade de B.

Gupta (1979) e Ferreira e Cruz (2001) observaram que os teores de B solúvel em água fervente foram maiores em solos de textura argilosa e que a relação entre o B recuperado em água fervente e o B adicionado foi menor em solos argilosos do que nos arenosos, pelo fato dos solos argilosos terem maior capacidade tampão para o B, conseqüentemente desgastando o extrator.

A matéria orgânica é considerada o principal reservatório de B disponível em solos ácidos, sendo que em solos brasileiros foram encontradas por Ruy

(1986) correlações positivas entre o teor de B extraído com água fervente e o teor de matéria orgânica.

Segundo Evans (1987) e Mezuman & Keren (1981) a complexação de B pela matéria orgânica é insignificante, tornando-se importante com aumento do pH para acima de 7,0. Já Azevedo et al. (2001) trabalhando com solos de várzea do Sul de Minas Gerais constataram que os teores de matéria orgânica dos solos se correlacionaram significativamente ($r = 0,82^{**}$) com a capacidade máxima de adsorção de B, mostrando que a matéria orgânica, provavelmente, é um dos sítios mais ativos de adsorção de B. Parks e White (1952) relatam que o H^+ ligado aos ácidos húmicos, em pH abaixo de 6,5, retém grande quantidade de B, formando compostos organoborados.

2. 4. Extratores químicos utilizados na Avaliação da disponibilidade de Zn, Cu e B nos solos.

No Brasil, mais de 50 % dos laboratórios em atividade, no período de 1982-89, utilizavam o Mehlich-1 como extrator de micronutrientes (Cantarella et al., 1994). Atualmente, os laboratórios de Minas Gerais e Bahia continuam utilizando Mehlich-1 para determinação de Zn e Cu e para B utilizam água fervente. Já os laboratórios de São Paulo utilizam DTPA para Zn e Cu, e o $ClBa_2$ para o B. Sabe-se que o extrator Mehlich -3 está sendo testado como uma nova opção para extração de micronutrientes.

O extrator Mehlich-1 é usado para determinar os teores disponíveis de P, K, Fe, Zn, Mn e Cu no solo . Este extrator consiste de uma mistura bi-ácida ($HCl\ 0,05\ mol\ L^{-1} + H_2SO_4\ 0,0125\ mol\ L^{-1}$) e é de uso generalizado no Brasil (Defelipo & Ribeiro, 1997). A extração baseia-se na solubilização pelo efeito da acidez, pH na faixa de 2, sendo o papel do SO_4^{2-} de restringir o processo de readsorção dos ânions recém extraídos.

O extrator Mehlich-3 (NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$, CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$, HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ e o EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$) foi desenvolvido para extração de vários nutrientes do solo em diferentes condições, com o propósito de ser um “extrator universal”(Mehlich, 1984). Sua ação é baseada no pH na faixa de 2,5 com a presença do íon fluoreto, ânion nitrato, e o EDTA que tem a finalidade de complexar os micronutrientes.

O extrator DTPA, pH 7,3, proposto por Lindsay & Norvell (1978), se combina com íons metálicos em solução formando complexos solúveis, com a diminuição de sua atividade, os íons desorvem do solo ou dissolvem da fase sólida para reabastecer os teores da solução. Vale salientar que o método foi originalmente desenvolvido para solos calcários do sudoeste dos Estados Unidos para avaliar a disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn.

De acordo com Abreu et al. (2001) o método de extração de micronutriente catiônicos para ser eficiente tem que detectar a alteração da disponibilidade diante das mudanças de pH. Shuman (1986) acrescenta que o extrator deve extrair parte ou toda a fração trocável, mas para Zn ele não deve extrair a fração orgânica. Ele encontrou correlações estreitas entre Mehlich 1 e DTPA com as frações trocável e matéria orgânica, porém o DTPA foi mais sensível a calagem.

Para Abreu et al. (1995) verificaram que as melhores correlações entre os teores de Cu e Zn em solos e os conteúdos desses nas plantas têm sido obtidas para o DTPA, sendo que as extrações com o Mehlich-1 e ácido clorídrico, apresentam resultados iguais ou inferiores aos obtidos com o DTPA, e não são sensíveis à calagem. Entretanto, segundo Menezes (1998), Hartmann (2001) e Ferreira (2003), o DTPA apresentou menor capacidade de recuperação do Zn disponível do que o Mehlich-3 e o Mehlich-1 em solos de Minas Gerais, sendo que o Zn recuperado pelos extratores Mehlich-3 e DTPA relacionaram-se linearmente (Menezes, 1998 e Hartman, 2001) e curvilineamente (Hartman, 2001) com o Zn adicionado ao solo.

A taxa de recuperação de um nutriente por um extrator, em função da sua dose adicionada varia de acordo com a capacidade tampão do solo para este nutriente, sendo esta uma propriedade que se busca estimar com determinadas características do solo tais como: teor de argila, P remanescente (P-rem), C orgânico e equivalente de umidade (Alvarez V., 1995; Menezes, 1998, Nascimento, 2001 e Ferreira, 2001).

Couto et al. (1992) em solos de cerrado, Menezes (1998) e Hartmann (2001) em solos de Minas Gerais encontraram correlações negativas entre as taxas de recuperação de Zn pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA e os teores de argila e equivalente de umidade. Oliveira (1999) mostrou que os extratores DTPA e Mehlich-3 são mais sensíveis do que Mehlich-1 e HCl às características dos solos relacionadas com a capacidade tampão de Zn.

Menezes (1998) e Nascimento (2001) verificaram que os solos mais arenosos apresentam maiores taxas de recuperação de Zn pelos extratores Mehlich -1, Mehlich -3 e DTPA, independentemente da calagem, como tudo foi indicado pelas elevadas correlações negativas entre teores de argila e as declividades das equações do Zn recuperado em função do Zn adicionado. Os extratores Mehlich-1 , Mehlich-3 e o DTPA extraem mais Zn de solos com menores teores de argila, pois em solos argilosos geralmente ocorre maior desgaste dos extratores.

Para Cu, Nascimento (2001) não obteve correlações significativas entre os teores de argila dos solos e as declividades para recuperação do elemento pelos extratores nos solos sem calagem, isso foi atribuído às diferenças em teores de matéria orgânica entre os solos e à maior afinidade desta pelo Cu. Nos solos com pH corrigido obtiveram-se correlações negativas entre os teores de argila dos solos e as taxas de recuperação do elemento, exceto para Mehlich-1 que foi pouco sensível aos teores de argila.

Bataglia e Raij (1994), Menezes (1998) e Nascimento (2001) observaram que os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 não apresentaram diferenças na capacidade de extração de Zn em solos submetidos à calagem, enquanto que o

DTPA foi sensível à calagem. Os teores de Zn obtidos com DTPA na presença de calagem correlacionaram-se melhor com todas as características dos solos. Segundo Menezes (1998) o DTPA poderia ser melhor utilizado em solos alcalinos, discordando de Haq e Miller (1972) que sugerem o uso do DTPA associado aos valores de pH do solo menores do que 7,0 para uma predição satisfatória.

Ferreira (2003) trabalhando com DTPA, Mehlich -1 e Mehlich-3 em solos de Minas Gerais observou maior correlação entre DTPA e Mehlich-1 ($r = 0,982^{***}$) que entre DTPA e o Mehlich-3 ($r = 0,737^{***}$) para determinação de Cu. Além disso, o DTPA foi o extrator que extraiu menores teores de Cu, seguido do Mehlich-1 e do Mehlich-3.

A determinação da disponibilidade de B no solo tem como método padrão a extração com água fervente, método proposto por Berger e Troug em 1939. Ribeiro e Tucunango S. (1984) trabalhando com cinco latossolos que receberam adição de B, cultivados com sorgo, obtiveram coeficientes de correlação entre B-solo e B-planta de 0,68 ($p < 0,01$) para água fervente e 0,58 ($p < 0,01$) para o Mehlich-1.

Ferreira et al. (2001) observaram que os extratores água fervente e CaCl_2 5 mmol L^{-1} fervente mostraram capacidades semelhantes de extração do B do solo, sendo que o CaCl_2 5 mmol L^{-1} fervente mostrou maior capacidade de recuperação do B aplicado do que a água fervente. Além disso, as taxas de recuperação de B com água fervente e CaCl_2 5 mmol L^{-1} fervente foram significativamente diminuídas em solos com mais argila, matéria orgânica e óxidos livres de Fe. O coeficiente de correlação entre o P-rem e a declividade do B recuperado em função do adicionado foi menor do que os coeficientes encontrados para P, S e Zn (Alvarez V.,2000), mostrando que a utilização desta característica para previsão da capacidade tampão de B do solo é menos indicada.

Bataglia e Raij (1990) observaram que o Mehlich-1 não consegue discriminar o efeito da calagem na variação do B disponível no solo, ao

contrário do que ocorre com a extração com água fervente, já Cruz & Ferreira (1984) observaram que água fervente não foi sensível à variação de teores de matéria orgânica e da textura.

Bartz e Magalhães (1975) afirmam que a absorção total de 1 mg de B pelas plantas corresponde a 0,8 e 1,8 mg dm⁻³ de B extraídos, respectivamente, pelos métodos da água fervente e Mehlich-1. Ribeiro e Tucunango S. (1984) verificaram que os teores de B obtidos pelos extratores água fervente e Mehlich-1, aumentaram linearmente com as doses de B aplicadas, após três cultivos com sorgo, resultados que corroboram com Buzetti et al. (1990) que obtiveram efeitos lineares da dose de B adicionada sobre os teores de B extraídos por água fervente, em três níveis de calagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados três experimentos em casa de vegetação com os tratamentos em esquema fatorial $(6 \times 2 + 9) \times 6$, correspondendo a seis solos com e sem calagem, nove solos sem calagem e seis doses de Zn, Cu e B. Os experimentos foram conduzidos separadamente para Zn, Cu e B, em blocos casualizados, com três repetições.

As 15 amostras de solos foram de diferentes procedências, seis da Bahia e nove de Minas Gerais (Quadro 1), após coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de diâmetro. Na terra fina seca ao ar (TFSA) fez-se a caracterização química e física (Quadro 2). A mineralogia foi determinada por difratometria de raios X da fração argila natural, irradiados com tubos de Co com velocidade angular de exposição de 1° por 30 s (Figura 1).

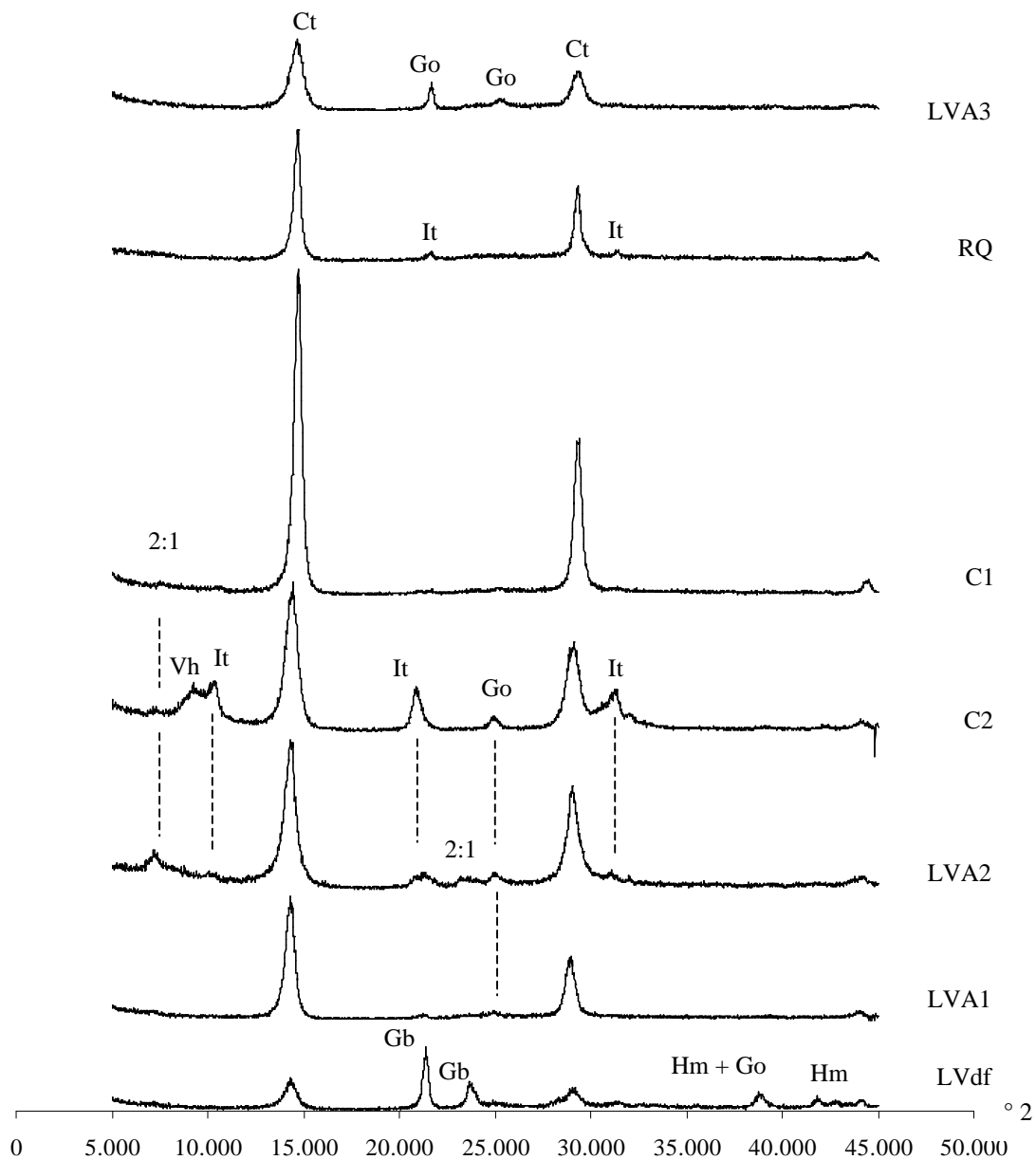
Quadro 1 - Classificação e procedência dos solos utilizados

SOLO	SIMBOLO	PROCEDÊNCIA
Latossolo Vermelho distroférico	LVdf	São Sebastião do Paraíso/MG
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA1	Viçosa/MG
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA2	João Pinheiro/MG
Cambissolo	C1	Viçosa/MG
Cambissolo	C2	Sete Lagoas/MG
Neossolo Quartzarênico	RQ	Ilhéus/BA
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA3	Arataca/BA
Latossolo Vermelho	LV1	Sete Lagoas/MG
Latossolo Vermelho	LV2	Sete Lagoas/MG
Argissolo Vermelho Amarelo	PVA1	Mascote/BA
Argissolo Vermelho Amarelo	PVA2	Ponte Nova/MG
Nitossolo Vermelho	NV	Viçosa/MG
Chernossolo	M	Itaju do Colônia/BA
Planossolo	S	Itaju do Colônia/BA
Vertissolo	V	Itaju do Colônia/BA

Quadro 2. Caracterização química e física das amostras de TFSA dos solos utilizados

CARACTERÍSTICAS	LVdf	LVA1	LVA2	C1	C2	RQ	LVA3 ¹	LV1 ¹	LV2 ¹	PVA1 ¹	PVA2 ¹	NV ¹	M ¹	S ¹	V ¹
pH água 1:2,5	5,3	4,2	4,5	4,3	4,8	4,6	6,5	5,8	5,5	5,6	5,8	6,7	6,8	5,9	5,7
pH água 1:2,5 (após calagem)	6,0	5,5	6,0	5,5	5,6	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mat. orgânica dag kg⁻¹ (2)	2,5	7,1	1,0	5,8	5,8	1,6	6,6	4,9	6,6	5,7	2,5	4,1	2,2	2,0	2,2
P, mg dm⁻³ (3)	0,9	1,0	1,5	1,7	1,5	2,3	34,7	3,7	15,1	5,3	7,4	2,2	51,8	4,9	4,4
K, mg dm⁻³ (3)	62,0	33,0	125,0	56,5	190	22,0	197	95,5	275	113	294	128	445	56,0	47,0
P rem, mg L⁻¹ (4)	3,9	11,5	13,7	18,7	11,8	26,4	16,7	7,2	9,1	20,8	19,9	19,0	39,8	29,8	35,8
P rem, mg L⁻¹ (4) (após calagem)	4,0	9,9	16,4	17,6	15,0	24,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca²⁺, cmol_c dm⁻³ (5)	0,6	0,1	0,2	0,3	1,2	0,3	7,8	2,8	3,9	4,4	2,4	5,1	2,2	4,2	3,4
Mg²⁺, cmol_c dm⁻³ (5)	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	2,2	0,5	0,8	2,9	1,6	2,4	2,5	4,0	2,7
Zn, mg dm⁻³ (3)	0,5	0,9	0,4	1,6	0,8	0,8	6,2	0,8	3,2	4,5	4,2	6,3	2,1	2,7	1,1
Cu, mg dm⁻³ (3)	7,0	0,5	1,3	2,0	2,1	0,8	1,5	1,3	1,1	1,3	6,3	2,3	0,9	1,0	1,2
B, mg dm⁻³ (6)	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,9	0,6	0,6	0,2	0,5	0,3	0,3	0,5	0,7	0,4
Al³⁺, cmol_c dm⁻³ (5)	0,1	2,7	1,7	2,1	2,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H + Al, cmol_c dm⁻³ (7)	5,4	13,9	4,2	8,5	6,9	5,1	2,8	9,5	5,4	5,0	3,4	0,9	0,0	1,3	1,9
SB, cmol_c dm⁻³	0,9	0,3	0,8	0,6	1,8	0,6	10,5	3,6	5,3	7,6	4,7	7,9	5,8	8,3	6,2
CTC pH 7,0, cmol_c dm⁻³	6,2	14,2	5,0	9,1	8,7	5,7	13,3	13,1	10,7	12,6	8,1	8,8	5,8	9,6	8,1
CTC_{efetiva}, cmol_c dm⁻³	1,0	3,0	2,5	2,7	3,9	1,4	10,5	3,9	5,3	7,8	4,7	7,9	5,8	8,3	6,2
V, %	14,2	2,1	16,6	6,2	20,9	9,9	79,2	27,3	50,0	60,5	76,5	90,7	100	86,4	76,5
m, %	10,3	90,2	67,1	79,1	53,4	60,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe ditionito, dag kg⁻¹ (8)	8,0	4,9	2,8	2,6	3,5	1,7	4,7	4,0	3,9	1,6	3,7	4,7	1,1	1,4	0,9
Fe oxalato, dag kg⁻¹ (8)	0,4	0,4	0,4	1,1	0,5	0,6	0,7	0,3	0,2	0,9	0,6	1,3	0,7	1,7	0,3
Areia, % (8)	28,0	25,0	62,0	52,0	5,0	88,0	41,0	17,0	14,0	45,0	49,0	51,0	75,0	64,0	39,0
Silte, % (8)	27,0	11,0	8,0	12,0	42,0	3,0	18,0	21,0	22,0	34,0	17,0	19,0	14,0	19,0	19,0
Argila, % (8)	45,0	64,0	30,0	36,0	53,0	9,0	41,0	62,0	64,0	21,0	34,0	30,0	11,0	17,0	42,0
Equiv. umidade, dag kg⁻¹ (8)	22,0	32,0	13,0	25,0	39,0	4,9	32,0	34,0	34,0	37,0	23,0	23,0	11,0	15,0	32,0
Densidade partícula, kg dm⁻³ (8)	3,0	2,6	2,7	2,5	2,6	2,7	2,6	2,6	2,7	2,5	2,7	2,6	2,7	2,6	2,6
Densidade aparente, kg dm⁻³ (9)	1,3	1,1	1,3	1,1	1,1	1,4	1,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,5	1,5	1,5

(¹) Solos testados apenas na ausência de calagem; (²)Walkley-Black; (³)Mehlich-1; (⁴)Alvarez V. et al. (2000); (⁵)KCl 1 mol L⁻¹; (⁶)Abreu et al., 1994) e (⁷)CaOAc 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0 (baseados em De Fellippo & Ribeiro, 1997). (⁸)Embrapa (1997); (⁹)Método da proveta com TFSA.



Símbolos: Ct = caolinita; Gb = gibbsita; Go = goethita; It = illita; Vh = vermiculita com hidróxido; Hm = hematita; Qtz = quartzo; e Fd = feldspato.

Figura 1 - Difratoigramas de raio X da fração argila nas amostras naturais dos solos estudados, irradiados com tubos de cátodo-oco de Co, usando K α e filtro de Ni.

Cont...

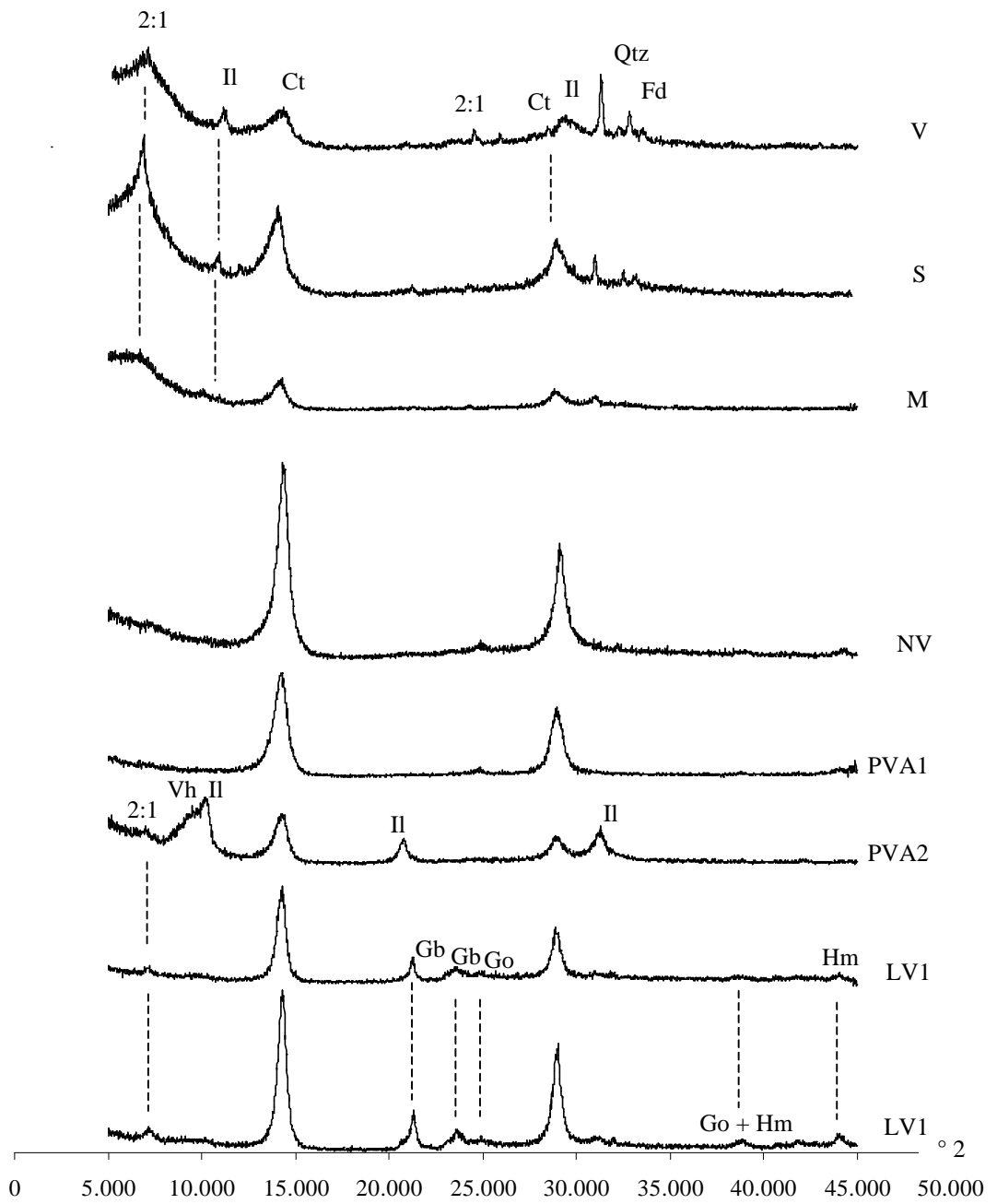


Figura 1, Cont.

As unidades experimentais foram constituídas por 0,6 dm³ de solo, sendo que para seis classes de solos metade das unidades experimentais não receberam corretivo e a outra metade adicionou-se corretivo composto da mistura CaCO₃ e MgCO₃ na relação molar de 4:1, em quantidades calculadas com base na análise de solo seguindo a recomendação de calagem pelo método Al e Ca + Mg para a cultura do milho (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). Os solos com os corretivos ficaram incubados em sacos plásticos durante 15 dias mantendo-se a umidade (estimada pelo equivalente de umidade) em 80 % da capacidade de campo, inclusive para os solos que não receberam calagem.

Depois da incubação com o CaCO₃ e MgCO₃, os solos receberam doses de Zn (0; 3; 6; 12; 18 e 30 mg dm⁻³) ou de Cu (0; 2; 4; 8; 12 e 20 mg dm⁻³) ou de B (0; 1,5; 3; 6; 9 e 15 mg dm⁻³), seguindo-se uma nova incubação durante 45 dias, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo. As fontes de Zn, Cu e B foram, respectivamente, ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5H₂O e H₃BO₃.

Após esse período, foram coletadas sub-amostras dos solos para análise de pH e dos teores de Zn, Cu e B disponíveis. Na extração do Zn e Cu do solo foram utilizadas Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA sendo a dosagem realizada por espectrofotometria de absorção atômica. O B disponível foi extraído com água fervente e CaCl₂ 5 mmol L⁻¹ fervente (Ferreira, 1998), sendo a dosagem feita com azometina-H (Bataglia & Raij, 1990).

A extração com Mehlich-1 (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹) foi feita utilizando-se uma relação solo:solução 1:10 com agitação por 5 min, repousando durante 16 h (De Felippo & Ribeiro, 1997). Na extração com Mehlich-3 (HOAc 0,2 mol L⁻¹, NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹, NH₄F 0,015 mol L⁻¹, HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ e EDTA 0,001 mol L⁻¹) a relação solo:solução, tempo de agitação e o período de descanso foram os mesmos utilizados para o Mehlich-1. Para a extração com DTPA-TEA (DTPA 0,005 mol L⁻¹ trietanolamina (TEA) 0,1 mol L⁻¹ e CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) foi utilizada a relação solo:solução 1:2, pH 7,3, com agitação durante 2 h, em seguida filtrando-se em papel de filtro lento.

Para extração de B com água fervente e com CaCl_2 5 mmol L^{-1} fervente foram utilizados sacos de polietileno (29,2 x 14,7 cm). A relação solo:solução foi de 1:2, adicionando 0,5 cm^3 de carvão ativado. Os sacos foram selados, pesados e perfurados a ± 1 cm à direita da extremidade superior. Foram aquecidos por meio de forno de microondas por 4 min na potência 700 W e por 5 min na potência 490 W. O peso dos sacos foi corrigido para o peso inicial, filtrando-se a mistura em seguida (dentro de 15 min).

Para calibrar o aparelho de microondas colocou-se 1000g de água deionizada em um becker de Teflon, mediu a temperatura inicial da água (T_i) e colocou o becker no centro do aparelho de microondas. Ligou-se o aparelho de microondas por 2 minutos em potência máxima, em seguida retirou-se o becker e mediu a temperatura final da água (T_f). Através da fórmula $p = (k C_p m \Delta T)/t$ calculou-se a potência aparente absorvida pela amostra (p), em watts. Onde K = fator de conversão de caloria termoquímica por segundo, a watts (igual a 4,184); C_p = calor específico da água (igual 1,0); m = massa da amostra em gramas; $\Delta T = T_f - T_i$ em graus Celsius; e t = tempo em segundos (EMBRAPA, 1999).

Os teores dos micronutrientes recuperados pelos extratores estudados foram submetidos à análise de variância. Para cada solo, com e sem calagem, foram ajustadas equações de regressão relacionando os teores de Cu, Zn e B recuperados pelos extratores com as doses adicionadas aos solos, determinado-se as taxas de recuperação dos extratores. Essas taxas foram correlacionadas com as características dos solos relacionadas à capacidade tampão.

Foram ajustadas regressões múltiplas das taxas de recuperação de Zn, Cu e B com algumas características do solo, na presença e ausência da calagem. As equações de regressão também foram ajustadas para as 21 amostras de solos onde não se levou em consideração à adição ou não da calagem, pela utilização conjunta dos 6 solos com calagem e dos 15 sem calagem.

Para a obtenção das regressões múltiplas foram eliminadas algumas variáveis que apresentavam coeficiente de correlação linear entre si igual ou

superior a 0,7, de modo a evitar colinearidades entre as características dos solos. As significâncias dos coeficientes da regressão foram testadas utilizando-se o quadrado médio da análise de variância.

Como suporte na execução das análises estatísticas utilizou-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG 5.0).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em forma geral, os teores de Zn e Cu extraídos dos solos foram maiores para o Mehlich -1 , seguido pelo Mehlich-3 e o DTPA (Quadros 3 e 4). Os solos apresentaram, para os três extratores, diferenças nas declividades das equações ajustadas entre o recuperado e o adicionado de Zn e Cu (Quadros 5 e 6), o que evidencia diferença quanto à capacidade tampão de Zn e Cu dos solos. As diferenças nos valores dos interceptos (Quadros 5 e 6) das equações que relacionam os teores extraídos com os adicionados, foram um reflexo dos diferentes teores iniciais do Zn e Cu no solo.

Os teores de Zn e Cu recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, independentemente da calagem, aumentaram linearmente com aumento das doses aplicadas aos solos, sendo que, em média, o Mehlich-1 recuperou os maiores teores de Zn ($7,38 \text{ mg dm}^{-3}$) e Cu ($6,94 \text{ mg dm}^{-3}$), seguido pelo Mehlich-3 ($6,13 \text{ mg dm}^{-3}$) ($5,70 \text{ mg dm}^{-3}$) e, pelo DTPA, (44 mg dm^{-3}) ($4,66 \text{ mg dm}^{-3}$). Isso é confirmado pelas declividades das equações dos teores de Zn e Cu recuperados em função das doses adicionadas (Quadros 5 e 6). Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Ribeiro (1984), Menezes (1998), Oliveira (1999) e Nascimento (2001).

Quadro 3 - Teores de Zn extraído com Mehlich-1 (M-1) , Mehlich-3 (M-3) e DTPA de solos da Bahia e Minas Gerais, na ausência e presença de calagem nas diferentes doses adicionadas deste nutriente

Solo	Dose	Ausência de calagem			Presença de calagem		
		M-1	M-3	DTPA	M-1	M-3	DTPA
----- mg dm ⁻³ -----							
LVdf	0	0,49	0,45	0,25	0,48	0,76	0,32
	3	1,77	1,47	0,93	1,74	1,37	0,99
	6	3,49	3,19	2,39	3,54	2,70	2,32
	12	6,62	4,68	3,51	7,01	4,75	3,74
	18	10,68	6,75	6,23	9,87	7,83	4,43
	30	17,46	12,43	10,70	16,23	12,02	8,59
Média		6,75	4,83	4,00	6,48	4,91	3,40
LVA1	0	0,87	1,23	0,33	1,22	0,75	0,27
	3	1,93	1,50	0,79	2,28	1,45	0,82
	6	3,58	2,46	1,32	3,64	1,85	1,56
	12	6,30	4,36	3,64	5,96	4,15	3,39
	18	9,33	6,01	6,42	8,39	5,35	5,47
	30	15,12	8,92	13,21	14,97	8,91	7,97
Média		6,19	4,08	4,29	6,08	3,74	3,25
LVA2	0	0,40	0,68	0,19	0,47	0,57	0,17
	3	1,65	1,37	0,81	1,45	1,60	0,43
	6	3,54	3,39	2,45	2,85	2,65	1,14
	12	6,14	6,22	4,82	4,96	5,03	2,46
	18	9,89	9,35	6,48	7,07	8,21	3,39
	30	15,41	14,65	9,79	13,76	12,64	8,67
Média		6,17	5,94	4,09	5,09	5,12	2,71
C1	0	1,63	1,06	0,54	1,33	1,17	0,38
	3	2,27	2,16	1,17	2,26	1,78	1,13
	6	3,46	3,73	1,64	3,43	3,02	1,59
	12	6,95	6,16	2,64	6,08	4,91	2,32
	18	9,62	8,53	4,45	8,26	7,46	3,40
	30	16,06	13,50	6,61	12,44	11,85	5,62
Média		6,67	5,86	2,84	5,63	5,03	2,41
C2	0	0,87	1,35	0,27	0,66	0,90	0,17
	3	1,60	1,69	0,80	1,18	1,54	0,37
	6	2,42	2,54	1,16	2,06	2,16	0,80
	12	4,46	4,39	3,36	3,39	3,69	1,49
	18	6,39	6,54	3,98	4,73	4,99	2,11
	30	9,47	10,01	6,88	7,92	8,25	3,48
Média		4,20	4,42	2,74	3,32	3,59	1,40
RQ	0	0,65	0,80	0,18	0,49	0,85	0,14
	3	2,53	2,62	1,51	2,54	2,37	1,59
	6	4,78	4,87	3,45	4,54	4,94	2,94
	12	9,61	9,65	5,91	9,02	9,01	4,89
	18	12,91	12,85	9,25	13,46	12,19	6,94
	30	21,21	20,91	15,45	20,72	20,48	13,31
Média		8,62	8,62	5,96	8,46	8,31	4,97

Cont...

Quadro 3 Cont...

Solo	Dose	Ausência de calagem			Solo	Dose	Ausência de calagem		
		M-1	M-3	DTPA			M-1	M-3	DTPA
		-----mg dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----		
LVA3	0	6,18	4,25	2,97	NV	0	5,87	4,27	2,61
	3	7,44	5,32	3,68		3	6,88	5,18	3,09
	6	9,49	6,38	4,22		6	8,62	6,84	3,78
	12	12,01	8,22	7,15		12	11,76	9,27	6,66
	18	16,09	10,61	12,16		18	14,22	11,24	10,72
	30	22,61	15,21	15,20		30	21,97	15,80	13,46
Média		12,30	8,33	7,56		11,55	8,77	6,72	
LV1	0	0,84	0,51	0,32	M	0	2,36	2,47	1,04
	3	1,60	1,24	0,61		3	3,56	3,59	2,36
	6	3,24	2,35	0,76		6	5,34	5,08	3,26
	12	4,72	3,25	1,84		12	8,41	8,66	9,33
	18	6,77	4,76	2,33		18	11,38	10,61	10,95
	30	10,88	7,72	2,60		30	17,61	17,59	15,21
Média		4,68	3,31	1,41		8,11	8,00	7,03	
LV2	0	3,19	2,04	0,83	S	0	2,79	2,52	1,31
	3	4,57	2,61	1,42		3	4,21	3,31	2,79
	6	5,38	3,57	1,66		6	6,11	4,74	3,42
	12	8,55	5,23	3,41		12	8,97	7,40	6,79
	18	11,78	7,17	4,19		18	13,22	10,83	9,56
	30	15,73	10,69	7,60		30	20,93	17,65	15,30
Média		8,20	5,22	3,19		9,37	7,74	6,53	
PVA1	0	4,56	3,75	2,46	V	0	1,08	1,10	0,55
	3	5,11	4,46	3,82		3	2,68	2,71	2,09
	6	7,08	5,75	4,57		6	4,52	3,80	3,22
	12	10,26	7,75	5,87		12	8,83	7,24	7,27
	18	12,18	9,81	7,41		18	11,28	9,80	9,18
	30	17,60	13,49	10,81		30	18,30	16,21	15,63
Média		9,47	7,50	5,82		7,78	6,81	6,32	
PVA2	0	4,10	3,69	2,01					
	3	5,40	4,88	3,37					
	6	6,80	6,16	4,08					
	12	9,52	8,53	6,84					
	18	13,98	11,71	9,27					
	30	20,31	16,55	14,50					
Média		10,02	8,59	6,68					

Quadro 4 - Teores de Cu extraído com Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA de solos da Bahia e Minas Gerais, na ausência e presença de calagem nas diferentes doses adicionadas deste nutriente

Solo	Dose	Ausência de calagem			Presença de calagem		
		M-1	M-3	DTPA	M-1	M-3	DTPA
----- mg dm ⁻³ -----							
LVdf	0	9,28	6,13	5,64	9,20	6,19	0,32
	2	10,58	6,71	6,32	10,30	6,82	0,99
	4	12,13	7,84	7,34	12,38	8,03	2,32
	8	15,47	10,26	9,63	15,42	10,27	3,74
	12	18,80	12,73	12,06	19,82	12,95	4,43
	20	26,18	17,41	15,45	25,37	17,18	8,59
Média		15,41	10,18	9,41	15,42	10,24	3,40
LVA1	0	0,57	0,49	0,80	0,70	0,50	0,27
	2	0,89	0,74	1,15	0,96	0,68	0,82
	4	1,41	1,08	1,64	1,52	1,00	1,56
	8	2,64	2,40	2,92	2,67	1,85	3,39
	12	4,22	3,07	3,87	4,13	2,76	5,47
	20	7,56	5,85	6,81	7,29	4,39	7,97
Média		2,88	2,27	2,87	2,88	1,86	3,25
LVA2	0	1,24	0,85	0,76	1,23	1,19	0,17
	2	2,08	2,01	1,46	2,10	1,98	0,43
	4	3,57	3,61	2,42	3,70	3,45	1,14
	8	7,15	6,78	4,22	6,82	6,67	2,46
	12	10,37	10,13	6,70	10,77	9,94	3,39
	20	17,70	17,37	11,18	17,45	17,46	8,67
Média		7,02	6,79	4,46	7,01	6,78	2,71
C1	0	1,28	1,06	1,13	1,56	0,75	0,38
	2	2,08	1,37	1,57	2,15	1,61	1,13
	4	3,47	2,46	2,51	3,25	2,43	1,59
	8	5,97	3,87	4,43	5,58	3,45	2,32
	12	8,31	5,58	6,30	9,14	5,85	3,40
	20	14,16	9,43	9,86	13,05	8,97	5,62
Média		5,88	3,96	4,30	5,79	3,84	2,41
C2	0	2,26	1,75	1,86	2,53	1,75	0,17
	2	3,08	2,39	2,30	3,01	2,41	0,37
	4	4,34	3,53	3,09	4,15	3,47	0,80
	8	6,93	5,52	4,90	6,07	5,37	1,49
	12	8,98	7,98	6,65	8,70	7,43	2,11
	20	14,05	12,17	10,49	14,11	11,56	3,48
Média		6,61	5,56	4,88	6,43	5,33	1,40
RQ	0	0,12	0,32	0,65	0,81	0,48	0,14
	2	1,96	1,72	1,72	1,97	1,60	1,59
	4	4,02	3,32	3,36	4,07	3,41	2,94
	8	8,71	7,46	6,60	8,99	7,32	4,89
	12	13,41	11,28	10,42	14,15	11,40	6,94
	20	19,31	20,00	16,99	18,84	19,11	13,31
Média		7,92	7,35	6,62	8,14	7,22	4,97

Cont ...

Quadro 4 Cont...

Solo	Dose	Ausência de calagem			Solo	Dose	Ausência de calagem		
		M-1	M-3	DTPA			M-1	M-3	DTPA
		-----mg dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----		
LVA3	0	1,71	1,85	1,54	NV	0	2,22	1,87	1,22
	2	2,63	2,44	2,15		2	2,79	2,93	2,11
	4	3,67	3,38	3,06		4	3,94	4,11	2,97
	8	6,39	5,89	4,88		8	7,01	7,04	5,35
	12	9,03	8,18	7,04		12	9,76	10,10	7,62
	20	13,51	11,44	10,56		20	17,13	16,55	12,57
Média		6,16	5,53	4,87			7,14	7,10	5,31
LV1	0	1,20	1,28	1,17	M	0	0,88	0,58	0,75
	2	1,49	1,53	1,46		2	1,43	1,27	1,74
	4	1,98	2,01	2,10		4	3,09	2,34	3,06
	8	3,19	3,44	3,36		8	6,37	5,61	5,57
	12	4,40	4,91	4,89		12	9,02	8,36	8,15
	20	7,12	7,33	7,01		20	15,90	14,53	14,28
Média		3,23	3,42	3,33			6,12	5,45	5,59
LV2	0	1,24	1,06	1,20	S	0	0,83	0,68	1,13
	2	1,55	1,64	1,40		2	1,57	1,54	1,94
	4	2,34	2,54	2,03		4	3,03	2,87	3,51
	8	4,21	4,59	3,90		8	5,80	5,90	6,24
	12	6,14	6,45	5,70		12	9,63	9,29	8,98
	20	10,48	11,07	8,67		20	17,55	14,78	15,20
Média		4,33	4,56	3,82			6,40	5,84	6,17
PVA1	0	1,35	1,47	1,54	V	0	1,08	0,55	0,65
	2	2,33	2,15	2,15		2	1,42	1,17	1,36
	4	3,30	3,22	3,52		4	2,42	2,70	2,47
	8	4,91	5,22	4,71		8	4,63	6,21	5,40
	12	7,78	7,70	7,62		12	7,04	9,07	7,75
	20	13,01	12,88	13,16		20	14,91	15,15	15,77
Média		5,45	5,44	5,45			5,25	5,81	5,57
PVA2	0	6,180	5,36	3,41					
	2	7,450	6,53	4,08					
	4	9,093	7,40	5,79					
	8	10,94	10,23	6,68					
	12	14,87	13,33	9,60					
	20	21,02	18,73	12,72					
Média		11,59	10,26	7,05					

Os maiores teores de Zn e Cu obtidos pelo Mehlich-1 na extração de Zn e Cu são devidos a sua acidez que promove deslocamento de cátions adsorvidos, dissolve carbonatos e hidróxidos não perfeitamente cristalizados e provoca dissolução parcial de minerais de argilas silicatadas (Pickering, 1981). O Mehlich-3 é menos ácido do que o Mehlich-1 e extrai Zn e Cu devido a sua acidez, mas também por complexação com o EDTA, e por troca iônica com o NH_4^+ . O DTPA atua como agente quelante deslocando o Cu e Zn dos sítios de troca mediante a formação de complexos solúveis que reduzem a atividade dos íons em solução, os quais são desorvidos dos sítios de troca ou dissolvidos de fases sólidas para manter a atividade em solução (Norvell, 1991). O DTPA mantém, ainda, durante a extração, o seu pH mais próximo ao pH dos solos, evitando a solubilização de compostos de Zn e Cu não disponíveis no momento.

As declividades das retas do recuperado em função do adicionado, para o Zn, na extração com DTPA nos solos LVA1, LVA3 e NV (Quadro 5) e para o Cu nos solos LVA1, CX1, PVA1 (Quadro 6) foram maiores que na extração com Mehlich-3. Isso sugere que o DTPA compete com a matéria orgânica pela complexação do Zn (Stevenson & Fitch, 1989).

No solo C2 para Zn e nos solos LV1, LV2 e V para Cu, as taxas de recuperação foram maiores para o extrator Mehlich-3 (Quadros 5 e 6), confirmando resultados encontrados por Ferreira (2003). A presença de EDTA no extrator Mehlich-3, em meio ácido favorece maior extração do Cu e do Zn, provavelmente por mantê-los quelatados em solução à medida que se procede a extração por troca/dissolução ácida/complexação (Mehlich, 1984).

Nos solos LV1 e o LV2 (Quadros 5 e 6) foram obtidas as menores taxas de recuperação de Cu e Zn, independentemente da calagem e do método de extração. Esses solos possuem os maiores teores de argila e teores de matéria orgânica (Quadro 2), o que resulta um desgaste maior dos extratores ácidos. Para o DTPA é mais difícil extrair Cu e Zn das ligações com óxidos de Fe e Al presentes nesses solos.

Quadro 5 - Equações para os teores de Zn recuperado (y , mg dm^{-3}) pelos extratores Mehlich-1(M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA, em função das doses de Zn adicionadas (x , mg dm^{-3}) em solos da Bahia e Minas Gerais, na ausência e na presença de calagem

SOLO	EQUAÇÃO	R ²	EQUAÇÃO	R ²	EQUAÇÃO	R ²
Presença de calagem						
	M-1		M3		DTPA	
LVdf	= 0,384 + 0,529*** x	0,999	= 0,441 + 0,388*** x	0,995	= 0,342 + 0,265*** x	0,983
LVA1	= 0,858 + 0,453*** x	0,993	= 0,576 + 0,275*** x	0,994	= 0,162 + 0,268*** x	0,992
LVA2	= 0,089 + 0,435*** x	0,988	= 0,385 + 0,411*** x	0,997	= 0,477 + 0,277*** x	0,950
C1	= 1,296 + 0,376*** x	0,998	= 0,855 + 0,363*** x	0,997	= 0,465 + 0,168*** x	0,995
C2	= 0,539 + 0,242*** x	0,998	= 0,770 + 0,245*** x	0,998	= 0,115 + 0,111*** x	0,999
RQ	= 0,608 + 0,682*** x	0,998	= 0,776 + 0,654*** x	0,998	= 0,094 + 0,423*** x	0,990
Média do b₁ mg dm⁻³/mg dm⁻³	0,45		0,39		0,25	
C.V. %	32,60		37,26		42,33	
Ausência de calagem						
LVdf	= 0,147 + 0,574*** x	0,998	= 0,354 + 0,389*** x	0,990	= 0,013 + 0,349*** x	0,991
LVA1	= 0,667 + 0,480*** x	0,999	= 1,001 + 0,267*** x	0,995	= 0,731 + 0,436*** x	0,971
LVA2	= 0,334 + 0,507*** x	0,998	= 0,432 + 0,479*** x	0,997	= 0,319 + 0,327*** x	0,988
C1	= 0,981 + 0,494*** x	0,995	= 1,078 + 0,415*** x	0,999	= 0,478 + 0,205*** x	0,993
C2	= 0,823 + 0,293*** x	0,997	= 0,967 + 0,300*** x	0,995	= 0,172 + 0,223*** x	0,986
RQ	= 0,709 + 0,687*** x	0,998	= 0,876 + 0,673*** x	0,998	= 0,110 + 0,508*** x	0,999
LVA3	= 5,947 + 0,553*** x	0,997	= 4,148 + 0,364*** x	0,998	= 2,453 + 0,444*** x	0,962
LV1	= 0,840 + 0,334*** x	0,997	= 0,592 + 0,236*** x	0,995	= 0,442 + 0,086*** x	0,953
LV2	= 3,248 + 0,431*** x	0,991	= 1,844 + 0,293*** x	0,998	= 0,605 + 0,224*** x	0,986
PVA1	= 4,353 + 0,444*** x	0,994	= 3,706 + 0,330*** x	0,998	= 2,755 + 0,267*** x	0,995
PVA2	= 3,691 + 0,550*** x	0,995	= 3,600 + 0,434*** x	0,998	= 1,886 + 0,419*** x	0,998
NV	= 5,401 + 0,535*** x	0,994	= 4,327 + 0,386*** x	0,997	= 2,172 + 0,396*** x	0,967
M	= 2,224 + 0,512*** x	0,999	= 2,210 + 0,504*** x	0,995	= 1,323 + 0,496*** x	0,955
S	= 2,389 + 0,607*** x	0,997	= 1,848 + 0,513*** x	0,993	= 1,186 + 0,484*** x	0,988
V	= 1,170 + 0,575*** x	0,997	= 1,041 + 0,502*** x	0,998	= 0,710 + 0,476*** x	0,998
Média do b₁ mg dm⁻³/mg dm⁻³	0,51		0,41		0,36	
C.V. %	19,98		28,55		36,19	

*** 0,1% de significância.

Quadro 6 - Equações para os teores de Cu recuperado (y , mg dm^{-3}) pelos extratores Mehlich-1(M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA, em função das doses de Cu adicionadas (x , mg dm^{-3}) em solos da Bahia e Minas Gerais, na ausência e na presença de calagem

SOLO	EQUAÇÃO	R ²	EQUAÇÃO	R ²	EQUAÇÃO	R ²
Ausência de calagem						
	M-1		M3		DTPA	
LVdf	= 9,022 + 0,834*** x	0,995	= 5,899 + 0,566*** x	0,997	= 5,703 + 0,504*** x	0,997
LVA1	= 0,311 + 0,335*** x	0,987	= 0,322 + 0,201*** x	0,995	= 0,689 + 0,230*** x	0,985
LVA2	= 0,627 + 0,833*** x	0,996	= 0,444 + 0,827*** x	0,994	= 0,487 + 0,457*** x	0,997
C1	= 1,157 + 0,604*** x	0,990	= 0,686 + 0,412*** x	0,992	= 1,050 + 0,439*** x	0,988
C2	= 1,918 + 0,589*** x	0,990	= 1,526 + 0,497*** x	0,999	= 1,386 + 0,354*** x	0,993
RQ	= 0,776 + 0,960*** x	0,978	= -0,083 + 0,953*** x	0,998	= 0,394 + 0,725*** x	0,993
Média do b₁ mg dm⁻³/mg dm⁻³	0,69		0,58		0,45	
C.V. %	34,91		53,43		40,42	
Presença de calagem						
LVdf	= 8,895 + 0,850*** x	0,998	= 5,743 + 0,579*** x	0,997	= 5,508 + 0,509*** x	0,995
LVA1	= 0,155 + 0,356*** x	0,987	= 0,201 + 0,270*** x	0,984	= 0,549 + 0,302*** x	0,991
LVA2	= 0,577 + 0,840*** x	0,996	= 0,409 + 0,833*** x	0,998	= 0,408 + 0,528*** x	0,996
C1	= 0,914 + 0,647*** x	0,997	= 0,708 + 0,424*** x	0,994	= 0,859 + 0,445*** x	0,998
C2	= 2,044 + 0,595*** x	0,999	= 1,476 + 0,532*** x	0,998	= 1,507 + 0,440*** x	0,996
RQ	= 0,335 + 0,989*** x	0,991	= -0,271 + 0,994*** x	0,997	= 0,220 + 0,835*** x	0,998
LVA3	= 1,525 + 0,604*** x	0,998	= 1,682 + 0,502*** x	0,993	= 1,328 + 0,462*** x	0,998
LV1	= 0,916 + 0,302*** x	0,993	= 0,996 + 0,316*** x	0,994	= 0,995 + 0,305*** x	0,995
LV2	= 0,695 + 0,474*** x	0,990	= 0,682 + 0,506*** x	0,995	= 0,800 + 0,394*** x	0,992
PVA1	= 0,987 + 0,582*** x	0,991	= 1,022 + 0,576*** x	0,994	= 0,992 + 0,581*** x	0,983
PVA2	= 5,901 + 0,743*** x	0,993	= 5,058 + 0,679*** x	0,997	= 3,420 + 0,473*** x	0,986
NV	= 1,333 + 0,758*** x	0,988	= 1,414 + 0,742*** x	0,997	= 0,919 + 0,572*** x	0,997
M	= 0,234 + 0,767*** x	0,995	= -0,042 + 0,716*** x	0,995	= 0,398 + 0,677*** x	0,997
S	= -0,106 + 0,849*** x	0,988	= 0,274 + 0,726*** x	0,997	= 0,710 + 0,712*** x	0,997
V	= -0,061 + 0,693*** x	0,965	= 0,032 + 0,754*** x	0,997	= -0,228 + 0,756*** x	0,981
Média do b₁ mg dm⁻³/mg dm⁻³	0,67		0,61		0,53	
C.V. %	28,48		31,96		29,56	

*** 0,1% de significância.

Os solos LV1 e LV2 são pedogeneticamente iguais, porém as taxas de recuperação de Zn e de Cu pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, foram maiores para o LV2 (Quadros 5 e 6). Esse fato, para o Zn, explica-se pelos teores iniciais no LV2 serem maiores (Quadro 3). Já para o Cu, onde os teores iniciais nos dois solos são iguais (Quadro 3), atribui-se ao manejo adotado, pois no LV1 é utilizado manejo convencional enquanto que no LV2 o sistema de plantio direto estabelecido há dez anos. Isso implica que, possivelmente, as declividades das retas dos teores de Zn e Cu recuperado em função das doses adicionadas podem diferir entre solos como também entre os manejos adotados.

Na presença da calagem, para o Zn os três extratores e para o Cu apenas o DTPA extraíram menores teores, possivelmente, devido à maior adsorção dos mesmos às frações de óxidos de Fe e Mn dos solos (Nascimento 2001).

O DTPA, em média, foi o que apresentou a menor capacidade de recuperação de Zn e Cu comparado aos outros extratores, sendo sensível ao aumento do pH dos solos, o que corrobora os resultados obtidos por Abreu e Raij (1997), Menezes (1998) e Nascimento (2001).

Os teores médios de B extraídos por água fervente e CaCl_2 fervente na ausência e na presença da calagem, variaram de 2,34 a 5,47 mg dm^{-3} para a água fervente e de 2,22 a 4,39 mg dm^{-3} para o CaCl_2 fervente (Quadro 7).

A exemplo do que se obteve para o Zn e o Cu, as doses adicionadas de B promoveram aumento linear e significativo nos teores desse nutriente extraídos por água fervente e CaCl_2 fervente (Quadro 8). As taxas de recuperação de B, considerando todos os solos, em média, foram de 0,48 mg dm^{-3} para o extrator água fervente e 0,41 mg dm^{-3} para solução CaCl_2 fervente, resultados semelhantes aos encontrados por Ribeiro e Tucanango S. (1984) e Buzetti (1988).

As taxas de recuperação de B com água fervente, em média, foram superiores as extraídas com CaCl_2 fervente, porém para os solos sem calagem as taxas de recuperação com o CaCl_2 fervente foram maiores na maioria dos solos, confirmando os resultados de Ferreira (1998). Esse

Quadro 7 - Teores médios de B recuperado pela água fervente e CaCl₂ fervente de solos na presença e na ausência de calagem, nas diferentes doses adicionadas desse nutriente.

Solo	Dose	Ausência de calagem		Presença de calagem	
		Água	CaCl ₂	Água	CaCl ₂
		----- mg dm ⁻³ -----			
LVdf	0	0,24	0,21	0,70	0,15
	1,5	0,82	0,59	0,83	0,58
	3	1,01	1,19	1,21	1,17
	6	2,81	4,02	3,53	3,42
	9	3,60	5,37	4,78	4,57
	15	7,15	7,10	6,72	6,92
Média		2,61	3,08	2,96	2,80
LVA1	0	0,44	0,27	0,75	0,26
	1,5	0,99	0,49	1,01	0,60
	3	1,30	0,87	1,51	0,90
	6	3,47	3,09	3,12	3,31
	9	4,42	4,35	3,74	3,94
	15	6,35	6,23	6,35	5,34
Média		2,83	2,55	2,74	2,39
LVA2	0	0,45	0,12	0,40	0,14
	1,5	0,77	0,56	0,81	0,63
	3	1,57	1,51	1,70	1,14
	6	3,96	3,86	2,98	3,50
	9	5,45	4,83	4,72	4,27
	15	9,04	6,60	8,39	6,60
Média		3,54	2,91	3,17	2,72
C1	0	0,58	0,29	0,53	0,32
	1,5	0,93	0,55	0,98	0,54
	3	1,35	0,95	2,11	0,92
	6	2,81	3,08	2,59	3,36
	9	4,06	3,88	4,00	3,96
	15	6,12	6,91	5,20	5,11
Média		2,64	2,61	2,57	2,37
C2	0	0,59	0,19	0,56	0,36
	1,5	1,03	0,44	1,08	0,42
	3	1,50	0,78	1,42	0,79
	6	3,13	2,93	2,93	3,21
	9	3,89	3,84	3,31	3,49
	15	6,51	5,59	6,58	5,60
Média		2,77	2,29	2,65	2,31
RQ	0	1,00	0,39	0,80	0,34
	1,5	1,36	0,96	1,52	0,83
	3	2,50	1,90	2,52	1,73
	6	6,21	5,20	5,16	4,89
	9	7,98	6,61	7,34	6,45
	15	13,78	11,31	12,95	10,60
Média		5,47	4,39	5,05	4,14

Cont...

Quadro 7 Cont ...

Solo	Dose	Ausência de Calagem Água	CaCl ₂	Solo	Dose	Ausência de Calagem Água	CaCl ₂
		-----mg dm ⁻³ -----				-----mg dm ⁻³ -----	
LVA3	0	0,53	0,32	NV	0	0,34	0,15
	1,5	1,13	0,50		1,5	0,49	0,45
	3	1,89	0,93		3	1,38	0,80
	6	3,24	3,21		6	2,66	2,91
	9	4,10	4,05		9	3,88	4,14
	15	5,74	5,92		15	6,31	6,42
Média		2,77	2,49			2,51	2,48
LV1	0	0,67	0,19	M	0	0,48	0,24
	1,5	1,29	0,53		1,5	1,01	0,82
	3	1,78	0,87		3	2,29	1,45
	6	2,64	2,80		6	4,39	4,32
	9	3,62	3,83		9	5,57	5,53
	15	5,22	5,18		15	10,06	8,53
Média		2,54	2,23			3,97	3,48
LV2	0	0,21	0,28	S	0	0,63	0,15
	1,5	0,54	0,39		1,5	0,86	0,66
	3	1,48	0,77		3	1,24	1,38
	6	2,61	2,74		6	4,60	4,09
	9	3,34	3,49		9	5,77	5,65
	15	5,84	5,67		15	8,37	8,68
Média		2,34	2,22			3,58	3,44
PVA1	0	0,38	0,23	V	0	0,37	0,36
	1,5	0,76	0,61		1,5	0,89	0,81
	3	1,34	1,06		3	1,53	1,62
	6	3,42	2,92		6	4,21	4,35
	9	3,92	4,13		9	5,72	5,65
	15	6,65	6,63		15	9,42	9,11
Média		2,75	2,60			3,69	3,65
PVA2	0	0,30	0,34				
	1,5	0,66	0,55				
	3	1,20	1,05				
	6	3,15	3,20				
	9	3,42	4,58				
	15	6,35	6,63				
Média		2,51	2,73				

Quadro 8- Equações ajustadas para a relação entre os teores de B recuperado (y , mg dm^{-3}), pelos extratores água fervente e CaCl_2 fervente, e as doses de B adicionadas (x , mg dm^{-3}) na ausência e presença de calagem.

SOLO	EQUAÇÃO	R ²	EQUAÇÃO	R ²
Ausência de calagem				
	ÁGUA		CaCl₂	
LVdf	= -0,026 + 0,458 ^{***} x	0,983	= 0,212 + 0,498 ^{***} x	0,954
LVA1	= 0,465 + 0,411 ^{***} x	0,977	= 0,082 + 0,429 ^{***} x	0,974
LVA2	= 0,119 + 0,595 ^{***} x	0,994	= 0,295 + 0,455 ^{***} x	0,959
C1	= 0,433 + 0,384 ^{***} x	0,995	= -0,014 + 0,456 ^{***} x	0,986
C2	= 0,484 + 0,398 ^{***} x	0,994	= 0,074 + 0,386 ^{***} x	0,97
RQ	= 0,402 + 0,882 ^{***} x	0,990	= 0,090 + 0,749 ^{***} x	0,991
LVA3	= 0,757 + 0,350 ^{***} x	0,983	= 0,179 + 0,402 ^{***} x	0,967
LV1	= 0,812 + 0,300 ^{***} x	0,997	= 0,180 + 0,357 ^{***} x	0,965
LV2	= 0,183 + 0,374 ^{***} x	0,993	= 0,028 + 0,382 ^{***} x	0,980
PVA1	= 0,291 + 0,427 ^{***} x	0,984	= 0,051 + 0,443 ^{***} x	0,993
PVA2	= 0,179 + 0,406 ^{***} x	0,979	= 0,132 + 0,451 ^{***} x	0,980
NV	= 0,140 + 0,412 ^{***} x	0,996	= -0,070 + 0,443 ^{***} x	0,985
M	= 0,296 + 0,639 ^{***} x	0,993	= 0,172 + 0,575 ^{***} x	0,984
S	= 0,363 + 0,559 ^{***} x	0,962	= 0,011 + 0,595 ^{***} x	0,988
V	= 0,100 + 0,624 ^{***} x	0,993	= 0,167 + 0,606 ^{***} x	0,990
Média do b₁ mg dm⁻³/mg dm⁻³	0,48		0,48	
C. V.	31,50		22,02	
Presença de calagem				
LVdf	= 0,447 + 0,437 ^{***} x	0,971	= 0,087 + 0,472 ^{***} x	0,985
LVA1	= 0,558 + 0,380 ^{***} x	0,990	= 0,292 + 0,365 ^{***} x	0,941
LVA2	= 0,073 + 0,538 ^{***} x	0,993	= 0,146 + 0,447 ^{***} x	0,979
C1	= 0,761 + 0,315 ^{***} x	0,966	= 0,350 + 0,351 ^{***} x	0,922
C2	= 0,395 + 0,391 ^{***} x	0,977	= 0,156 + 0,374 ^{***} x	0,954
RQ	= 0,333 + 0,820 ^{***} x	0,995	= 0,054 + 0,710 ^{***} x	0,991
Média do b₁ mg dm⁻³/mg dm⁻³	0,48		0,45	
C. V.	37,92		29,75	

***0,1 % de significância.

autor atribui a superioridade do CaCl_2 fervente à mudança da força iônica da solução extratora que promove um equilíbrio químico entre os íons em solução, e mantém maior teor de B na solução.

As equações para B recuperado em função do adicionado na presença e na ausência da calagem não diferiram entre si, tanto para a água fervente como para o CaCl_2 fervente, ou seja, não foram sensíveis à calagem conforme o teste de identidade de modelos. O extrator CaCl_2 fervente, na presença da calagem tendeu a extrair menores teores de B, porém a diferença não foi significativa a 10 %.

Os solos LV1, LVA3 e LV2 (Quadro 8) foram os que apresentaram as menores declividades das equações entre B recuperado e B adicionado aos solos na ausência e presença de calagem, para os dois extratores. Esses solos são argilosos com predominância de caulinita, gibbsita, goethita e, hematita para o LV1 e o LV2 (Figura 1). Segundo Sims e Bingham (1968) esses óxidos são os principais responsáveis pela adsorção do B.

Os coeficientes de correlação (r) entre os teores de argila e as taxas de recuperação de Zn e Cu pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA e de B com água fervente e CaCl_2 fervente foram negativos e significativos (Quadro 9), indicando que os extratores extraem mais Zn, Cu e B de solos com menores teores de argila. Esse fato foi observado para os solos RQ, S e M que tem maiores valores de b_1 das equações do nutriente recuperado em função do adicionado (Quadros 5, 6 e 8).

No solo V as taxas de recuperação de Zn, Cu e B foram relativamente altas considerando sua textura argilosa. Possivelmente isso ocorreu devido à presença de argila de alta atividade, com predominância de esmectita, com a presença ainda de mica e caulinita na sua constituição mineralógica (Figura 1). O solo LVdf teve o mesmo comportamento do solo V para o Cu, sendo que esse fato foi atribuído aos altos teores iniciais desse elemento.

Os coeficientes de correlação entre as declividades das retas dos teores de Zn e Cu recuperados em função das doses desses nutrientes adicionadas ao solo e o equivalente de umidade e os teores de matéria orgânica foram

negativos e significativos para os três extratores na ausência da calagem (Quadro 9). Com a correção de pH do solo, os coeficientes de correlação diminuíram para o Zn, enquanto que para o Cu aumentaram (Quadro 9).

A matéria orgânica do solo tem alta afinidade em complexar o Zn e o Cu (Nascimento 2001), enquanto que para o B, segundo Evans (1987), a complexação ocorre em pH superior a 7,0. As correlações entre matéria orgânica e as declividades das retas do recuperado em função do adicionado de B foram significativas para água fervente na ausência e na presença de calagem, enquanto para o CaCl_2 fervente apenas foi significativa na presença de calagem.

O P-rem tem sido utilizado para estimar a capacidade tampão de P e S em solos, como também para auxiliar na recomendação de doses de corretivo e adubos (Alvarez V., 2000). As correlações entre P-rem do solo e as taxas de recuperação do Zn e Cu, na ausência de calagem, foram significativas para os três extratores (Quadro 9). Já na presença de calagem, para o Zn, os coeficientes de correlação foram significativos para o Mehlich-3, sendo que para Cu foram significativos para Mehlich-3 e para o DTPA (Quadro 9).

Considerando o coeficiente de variação dos valores de b_1 das equações do Zn recuperado em função do Zn adicionado (Quadro 5), o extrator DTPA foi mais sensível à capacidade tampão de Zn, porém, o Mehlich-3 foi o que melhor se correlacionou com argila, matéria orgânica e equivalente de umidade que são características do solo que influenciam sobre a capacidade tampão de Zn (Quadro 9). O Mehlich-3 foi o mais sensível a capacidade tampão de Cu nos solos, como indicado pelo coeficiente de variação (Quadro 6) e os coeficientes de correlação entre as características do solo, que estima a capacidade tampão, e as taxas de recuperação de Cu recuperado em função do aplicado (Quadro 9).

A água fervente foi mais sensível a capacidade tampão de B no solo do que o CaCl_2 fervente (Quadro 8), sendo que para os dois extratores, na presença de calagem, houve aumento dos coeficientes de variação (Quadro 8).

QUADRO 9 - Coeficientes de correlação linear simples (r) entre algumas características de solo e as declividades da reta do Zn e Cu recuperados pelos extratores Mehlich-1(M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função das doses de Zn e Cu adicionadas ao solo, e entre o B recuperado pela água fervente e pelo CaCl₂ fervente e as doses de B adicionadas ao solo, na ausência e na presença da calagem.

Característica	Calagem	Zn			Cu			B	
		M - 1	M-3	DTPA	M - 1	M-3	DTPA	Água	CaCl ₂
Matéria orgânica	ausência	-0,61 ^{**}	-0,81 ^{***}	-0,57 [*]	-0,83 ^{***}	-0,84 ^{***}	-0,74 ^{***}	-0,79 ^{***}	-0,77 ^{***}
	presença	-0,59 ^{ns}	-0,72 [*]	-0,62 [°]	-0,94 ^{**}	-0,91 ^{**}	-0,77 [*]	-0,70 [°]	-0,58 ^{ns}
P-rem	ausência	0,48 [*]	0,69 ^{**}	0,66 ^{**}	0,44 [*]	0,57 ^{**}	0,79 ^{***}	0,67 ^{**}	0,69 [°]
	presença	0,34 ^{ns}	0,61 [°]	0,33 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,73 ^{***}	0,56 ^{ns}
H + Al	ausência	-0,45 [*]	-0,55 [*]	-0,50 [*]	-0,65 ^{**}	-0,71 ^{**}	-0,69 ^{**}	-0,46 [*]	-0,56 [*]
	presença	-0,23 ^{ns}	-0,53 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,92 ^{**}	-0,86 [*]	-0,73 [*]	-0,49 ^{ns}	-0,37 ^{ns}
CTC	ausência	-0,43 [°]	-0,73 ^{**}	-0,23 ^{ns}	-0,83 ^{***}	-0,77 ^{***}	-0,60 ^{**}	-0,66 ^{**}	-0,58 [*]
	presença	-0,34 ^{ns}	-0,62 [°]	-0,33 ^{ns}	-0,96 ^{**}	-0,89 ^{**}	-0,79 [*]	-0,55 ^{ns}	-0,46 ^{ns}
Argila	ausência	-0,64 ^{**}	-0,81 ^{***}	-0,56 [*]	-0,80 ^{***}	-0,77 ^{***}	-0,83 ^{***}	-0,68 ^{**}	-0,73 ^{**}
	presença	-0,63 [°]	0,93 ^{**}	-0,64 [°]	-0,85 [*]	-0,89 ^{**}	-0,93 ^{**}	-0,86 [*]	-0,83 [*]
Eq. Umidade	ausência	-0,70 ^{**}	-0,84 ^{***}	-0,54 [*]	-0,80 ^{***}	-0,75 ^{***}	-0,67 ^{**}	-0,74 ^{***}	-0,70 ^{**}
	presença	-0,83 [*]	-0,93 ^{**}	-0,85 [*]	-0,81 [*]	-0,84 [*]	-0,84 [*]	-0,87 [*]	-0,83 [*]
Silte + Argila	ausência	-0,77 ^{***}	-0,87 ^{***}	-0,63 ^{**}	-0,76 ^{***}	-0,74 ^{***}	-0,76 ^{***}	-0,71 ^{**}	-0,72 ^{**}
	presença	-0,73 [*]	-0,91 ^{**}	-0,77 [*]	-0,65 [°]	-0,73 [*]	-0,78 [*]	-0,84 [*]	-0,82 [*]

^{ns}, [°], ^{*}, ^{**}, ^{***} Não significativo e significativo a 10, 5, 1e 0,1 %, respectivamente. Foram utilizados 15 pares de dados na ausência e 6 na presença de calagem.

para as declividades do B recuperado em função do B adicionado, indicando que houve aumento na sensibilidade dos dois extratores à capacidade tampão de B dos solos .

Equações de regressão múltipla foram ajustadas entre as taxas do elemento recuperado em função da sua dose adicionada aos solos e algumas características dos solos que influenciam na capacidade tampão de Zn, Cu e o B (Quadros 10, 11 e 12).

Os modelos de regressão ajustados para as taxas de Zn recuperado em função do adicionado nos solos na ausência de calagem (Quadro 10) mostram que silte + argila (SARG) explicam 59,2 % dos teores de Zn recuperados pelo Mehlich-1. Para Mehlich-3 a matéria orgânica e SARG justificaram em 86,5 % para o Zn extraído em função do adicionado. As taxas de recuperação do Zn extraído pelo DTPA foram explicadas em apenas 40,2 % pelos teores de silte +argila. Quando se ajustaram as equações para os solos que foram submetidos à calagem, observou-se que os coeficientes de determinação aumentaram e outras características dos solos, como por exemplo o P rem, passaram a explicar a declividade da reta do Zn recuperado em função do Zn adicionado.

Com base nos modelos ajustados para as taxas de recuperação do Cu para os três extratores na ausência e na presença de calagem, nota-se que a argila e a matéria orgânica foram as variáveis que melhor explicaram as taxas de recuperação de Cu (Quadro 10), visto que são os principais componentes do solo responsáveis, pela adsorção e complexação do Cu (Ferreira, 2003).

Nos solos que receberam doses crescentes de B, as taxas de recuperação, na ausência da calagem, foram explicadas pelo equivalente de umidade (71,3 %) para água fervente e pela matéria orgânica e o fósforo remanescente (71,8 %) para o CaCl_2 fervente (Quadro 11). Com a calagem verificou-se que as taxas de recuperação B nos solos com água fervente e CaCl_2 fervente dependeram, principalmente, da quantidade e qualidade da argila.

Quadro 10 - Equações de regressão para determinação das taxas de recuperação (TR) de Zn e Cu com Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função de algumas características do solo na ausência e presença de calagem.

Nutriente	Equação de Regressão	R ²
Ausência de calagem		
M-1		
Zn	TR = 0,69 - 0,0034 ^{***} SARG	0,592
Cu	TR = 0,98 - 0,0084 ^{***} ARG	0,641
	TR = 0,95 - 0,1203 ^{***} MO	0,682
	TR = 1,03 - 0,0048 ^{**} ARG - 0,0773 ^{**} MO	0,805
M-3		
Zn	TR = 0,46-0,0551 ^{**} MO + 0,0038 [*] PR	0,742
	TR = 0,76 - 0,009 ^{**} SARG + 0,00004 [°] SARG ²	0,810
	TR = 0,66 - 0,0030 ^{***} SARG - 0,0365 ^{**} MO	0,865
Cu	TR = 0,92 - 0,0083 ^{***} ARG	0,594
	TR = 0,90 - 0,1256 ^{***} MO	0,712
	TR = 0,87 - 0,0432 ^{***} CTC + 0,0065 [*] PR	0,705
	TR = 0,97 - 0,0042 [*] ARG - 0,0884 ^{**} MO	0,801
DTPA		
Zn	TR = 0,56-0,0035 ^{**} SARG	0,402
Cu	TR = 0,80 - 0,0071 ^{***} ARG	0,684
	TR = 0,82 - 0,0052 ^{**} ARG - 0,0427 [*] MO	0,756
Presença de calagem		
M-1		
Zn	TR = 0,78 - 0,0650 [*] PR + 0,0025 [*] PR ²	0,777
Cu	TR = 1,09 - 0,0101 [*] ARG	0,725
	TR = 1,02 - 0,1421 ^{**} MO	0,874
	TR = 1,22 - 0,0645 ^{***} CTC	0,914
M-3		
Zn	TR = 0,54 - 0,0460PR [*] + 0,0021 [*] PR ²	0,904
	TR = 0,78 - 0,0151 [*] ARG + 0,0001 [°] ARG ²	0,940
Cu	TR = 1,08 - 0,0128 ^{**} ARG	0,797
	TR = 0,96 - 0,1680 ^{**} MO	0,832
	TR = 0,93 - 0,0299 [*] CTC + 0,0116 [°] PR	0,894
	TR = 0,71 - 0,1516 ^{**} MO + 0,0149 [*] PR	0,972
DTPA		
Zn	TR = 0,42 - 0,7344 [*] EU	0,722
Cu	TR = 0,65 - 0,0851 [*] MO	0,591
	TR = 0,77 - 0,0080 ^{**} ARG	0,871

[°], ^{*}, ^{**}, ^{***} Significativo a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente. SARG - silte + argila (%); ARG - argila (%); MO - matéria orgânica (dag kg⁻¹); EU - equivalente de umidade (dag kg⁻¹), PR - fósforo remanescente (mg L⁻¹) e CTC (cmol_c dm⁻³)

Quadro 11 - Equações de regressão para as taxas de recuperação (TR) de B recuperado com água fervente e por CaCl₂ fervente em função das doses adicionadas na ausência e na presença de calagem.

Calagem	Equação de Regressão Múltipla	R ²
Água fervente		
ausência	TR = 0,81 – 0,0153 [°] ARG + 0,0001 [°] ARG ²	0,540
	TR = 0,66 – 0,0860 ^{***} MO	0,620
	TR = 0,53 – 0,0658 ^{**} MO + 0,0046 [°] PR	0,696
	TR = 0,97 – 3,7955 ^{**} EU + 6,1679 [*] EU ²	0,713
presença	TR = 1,11 – 0,0264 [*] ARG + 0,0002 [*] ARG ²	0,936
CaCl₂		
ausência	TR = 0,75 – 0,0110 [*] ARG + 0,0001 [°] ARG ²	0,590
	TR = 0,61 – 0,0634 ^{***} MO	0,593
	TR = 0,48 – 0,0432 ^{**} MO + 0,0046 [*] PR	0,726
	TR = 0,89 – 0,0179 [*] ARG + 0,0002 [*] ARG ²	0,892
presença	TR = 0,67 – 0,0479 ^{**} PR + 0,0021 ^{**} PR ²	0,962

[°], ^{*}, ^{**}, ^{***} Significativo a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente. SARG - silte + argila (%); ARG – argila (%); MO – matéria orgânica (dag kg⁻¹); EU – equivalente de umidade (dag kg⁻¹) e PR- fósforo remanescente (mg L⁻¹).

As equações de regressão múltiplas ajustadas para os 21 solos (Quadro 12) mostram que os teores de matéria orgânica e de argila são as principais características dos solos que explicam as declividades das equações do nutriente recuperado em função do adicionado.

Quadro 12 - Equações de regressão para as taxas de recuperação de Zn, Cu e B em função das doses adicionadas em 21 solos

Nutriente	Equação de Regressão Múltipla	R ²
Mehlich-1		
Zn	TR = 0,69 – 0,0035 ^{***} SARG	0,543
Cu	TR = 1,01 – 0,0088 ^{***} ARG	0,655
	TR = 0,97 – 0,1272 ^{***} MO	0,739
	TR = 1,17 – 0,0558 ^{***} CTC	0,750
	TR = 1,05 – 0,0046 ^{**} ARG – 0,0851 ^{***} MO	0,836
Mehlich-3		
Zn	TR = 0,63 – 0,0039 ^{***} ARG – 0,0353 ^{**} MO	0,797
	TR = 0,75 – 0,0089 ^{***} SARG + 0,00004 [*] SARG ²	0,832
Cu	TR = 0,96 – 0,0095 ^{***} ARG	0,649
	TR = 0,92 – 0,1392 ^{***} MO	0,744
	TR = 1,00 – 0,0049 ^{**} ARG – 0,0944 ^{***} MO	0,836

Cont ...

Quadro 12 Cont ...

Nutriente	Equação de Regressão Múltipla	R²
DTPA		
Zn	TR = 0,48 – 0,0040 ^{**} ARG	0,310
Cu	TR = 0,79 – 0,0075 ^{***} ARG	0,714
	TR = 0,49 – 0,0588 ^{**} CTC + 0,0086 ^{***} PR	0,735
	TR = 0,81 – 0,0058 ^{***} ARG – 0,0347 [*] MO	0,759
Água fervente		
B	TR = 0,55 – 0,0708 ^{***} MO + 0,0051 [*] PR	0,631
	TR = 0,90 – 0,0191 [*] ARG + 0,0002 [*] ARG ²	0,634
	TR = 1,02 – 4,1085 ^{***} EU + 6,5600 ^{***} EU ²	0,817
CaCl₂ fervente		
B	TR = 0,49 – 0,0441 ^{**} MO + 0,0045 [*] PR	0,608
	TR = 0,77 – 0,01329 ^{**} ARG + 0,0001 [*] ARG ²	0,662

^o, ^{*}, ^{**}, ^{***} Significativo a 10, 5, 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste F. SARG - silte + argila (%); ARG – argila (%); MO – matéria orgânica (dag kg⁻¹); EU – equivalente de umidade (dag kg⁻¹) e PR- fósforo remanescente (mg L⁻¹).

O Quadro 13 evidencia que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA estão altamente correlacionados uns com os outros, apesar das diferenças nos teores de Zn e Cu extraídos. O extrator CaCl_2 fervente se correlacionou com água fervente tanto na presença ($r = 0,95^{***}$) como na ausência ($r = 0,96^{***}$) da calagem.

Avaliando as correlações entre extratores utilizados para Zn, para cada dose de Zn adicionada ao solo, (Quadro 14), nota-se que os coeficientes de correlação entre o extrator Mehlich-1 e o Mehlich-3, na presença da calagem, aumentam com aumento das doses, porém diminuem quando a calagem está ausente. Para o Cu os coeficientes de correlação entre os três extratores permaneceram estáveis tendo uma pequena queda a partir da dose $4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e estabilizando-se novamente em doses mais elevadas.

Quadro 13 - Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de zinco e cobre extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA para os solos em dois níveis de calagem.

	Calagem	----- Zn -----		----- Cu-----	
		M-3	DTPA	M-3	DTPA
M - 1	ausência	0,95 ^{***}	0,93 ^{***}	0,96 ^{***}	0,95 ^{***}
	presença	0,96 ^{***}	0,98 ^{***}	0,96 ^{***}	0,98 ^{***}
M-3	ausência		0,93 ^{***}		0,96 ^{***}
	presença		0,94 ^{***}		0,95 ^{***}

*** Significativo a 0,1 %.

Os valores do extrator CaCl_2 fervente foram altamente correlacionados com a água fervente, porém na dose 0 mg dm^{-3} as correlações foram baixas e não significativas a 10 % na ausência da calagem, indicando que os extratores extraem formas diferentes de B. Quando as doses de B foram aumentados os coeficientes de correlação também aumentaram, mostrando que esses dois extratores não se correlacionam quanto aos teores de B extraídos em solos que não tiveram adubações recentes a base de B (Quadro 15).

Quadro 14 – Coeficientes de correlação linear simples entre os teores de zinco e cobre extraídos pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA para cada dose (mg dm⁻³) adicionada aos solos na ausência e presença de calagem

		ZINCO						COBRE					
		Dose						Dose					
		0	3	6	12	18	30	0	2	4	8	12	20
		M-3						M-3					
Calagem													
M-1	ausência	0,95 ^{***}	0,92 ^{***}	0,89 ^{***}	0,78 ^{***}	0,74 ^{***}	0,73 ^{***}	0,97 ^{***}	0,96 ^{***}	0,96 ^{***}	0,88 ^{***}	0,86 ^{***}	0,86 ^{***}
	presença	0,54 [*]	0,60 ^{**}	0,66 ^{**}	0,81 ^{***}	0,82 ^{***}	0,80 ^{***}	0,99 ^{***}	0,98 ^{***}	0,98 ^{***}	0,94 ^{***}	0,93 ^{***}	0,84 ^{***}
DTPA	ausência	0,96 ^{***}	0,94 ^{***}	0,89 ^{***}	0,80 ^{***}	0,82 ^{***}	0,75 ^{***}	0,95 ^{***}	0,92 ^{***}	0,92 ^{***}	0,85 ^{***}	0,87 ^{***}	0,80 ^{***}
	presença	0,60 ^{**}	0,70 ^{***}	0,75 ^{***}	0,78 ^{***}	0,62 ^{**}	0,79 ^{***}	0,98 ^{***}	0,98 ^{***}	0,96 ^{***}	0,87 ^{***}	0,88 ^{***}	0,83 ^{***}
		DTPA						DTPA					
		0	3	6	12	18	30	0	2	4	8	12	20
Calagem													
M-1	ausência	0,96 ^{***}	0,87 ^{***}	0,79 ^{***}	0,64 ^{***}	0,79 ^{***}	0,76 ^{***}	0,97 ^{***}	0,97 ^{***}	0,96 ^{***}	0,89 ^{***}	0,89 ^{***}	0,75 ^{***}
	presença	0,81 ^{***}	0,86 ^{***}	0,81 ^{***}	0,89 ^{***}	0,88 ^{***}	0,95 ^{***}	0,98 ^{***}	0,99 ^{***}	0,99 ^{***}	0,95 ^{***}	0,97 ^{***}	0,90 ^{***}

⁰, ^{**}, ^{***} Significativo a 5, 1 e 0,1.

Quadro 15 - Coeficientes de correlação linear simples entre teores de boro extraído pelos extratores água fervente e CaCl_2 fervente para cada dose (mg dm^{-3}) adicionada na ausência e na presença da calagem.

Dose	Ausência de calagem	Presença de calagem
0	0,07 ^{ns}	0,36 [°]
1,5	0,36 ^{**}	0,38 [°]
3	0,39 ^{**}	0,59 ^{**}
6	0,52 ^{***}	0,74 ^{***}
9	0,75 ^{***}	0,78 ^{***}
15	0,79 ^{***}	0,93 ^{***}

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

5. CONCLUSÕES

1. O Zn e o Cu recuperado pelo M-1, M-3 e o DTPA, e o B extraído com água fervente e o CaCl_2 fervente, independente da calagem, aumenta linearmente com o aumento das doses aplicadas desses nutrientes aos solos.
2. A capacidade de extração do Zn e Cu dos solos segue a seguinte ordem: M-1 > M-3 > DTPA.
3. Os extratores M-3 e o DTPA são mais sensíveis à capacidade tampão (CT) de Zn e Cu do solo. Enquanto a calagem a sensibilidade é maior para o DTPA.
4. Para o B, a água fervente é mais sensível à CT de B do solo do que o CaCl_2 fervente, sendo que esses dois extratores não são sensíveis à calagem.
5. Na presença de calagem, as taxas de recuperação do Zn e Cu dos solos pelos extratores M-1, M-3 e DTPA são menores em comparação na ausência de calagem .
6. As taxas de recuperação de Zn, Cu e B dos solos pelos extratores usados neste trabalho variam de acordo com os teores de matéria orgânica, quantidade e qualidade de argila, e pelo equivalente de umidade.
7. Os extratores M-1, M-3 e DTPA foram altamente correlacionados entre si na extração de Zn e Cu, ocorrendo o mesmo com água fervente e o CaCl_2 fervente na extração do B do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A., FERREIRA, M.E & BORKERT, C.M. 2001. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. et al. micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPQ/FAPESP/POTAFOS, p 124-150.
- ABREU, C.A , ABREU, M.F., RAIJ, B. van & SANTOS, W.R. 1995. Comparação de métodos de análise para avaliar a disponibilidade de metais pesados em solos. Rev. Bras. Ci. Solo, 19:463-68.
- ABREU, C.A. & RAIJ, B. van. 1997. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 26, Rio de Janeiro. (CD ROM)
- ALVAREZ V., H. 1995. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., H., FONTES, L. E. F. & FONTES, M.P.F. O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Viçosa: SBCS, UFV, p 615-646.
- ALVAREZ V. V.H., NOVAIS, R.F.. DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. 2000. Determinação e uso de fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:21-32.
- ALVAREZ V., V. H. & RIBEIRO, A.C. 1999. Calagem. In: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, MG: 359 p.

- ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. 2000. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. inf. SBCS, 25:27-32.
- AZEVEDO, W. R., FAQUIN, V. & FERNANDES, L.A. 2001. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. Pesq. Agropec.bras., Brasília, 37: 957-964.
- BARTS, H.R. & MAGALHÃES, A.F. 1975. Avaliação da disponibilidade de boro através de soluções extratoras em alguns solos do rio grande do sul. Agronon. Sulriograndense, 11: 89-96.
- BATAGLIA, O.C & RAIJ, B. Van. 1990. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. R.Bras.Ci.Solo, 14:25-31.
- BATAGLIA, O.C & RAIJ, B. Van. 1994. Soluções Extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. Rev. Bras. Ci. Solo, 18:457-614.
- BERGER, K. C. & TROUG, E. 1939. Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 11: 540-545.
- BUZETTI, S., MURAOKA, T. & SÁ, M.E. 1990. Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de Matéria Seca e de Grãos e Nível Crítico no Solo. Rev. Bras. Ci. Solo 14:157-61.
- CAMARGO, O. A. 1991. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPQ, p 255-72.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATOS JUNIOR, D.A. 1994. Análise de solo no Brasil: 1982-1989. B.Inf.SBCS, 13:96-112.
- CHESWORT, W. 1991. Geochemistry of micronutrients. In: Micronutrients in: agriculture.(MORTVEDT, J.J. et al.) 2 ed. Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. Am., p 1-30.
- COUTO, C., NOVAIS, R. F., TEXEIRA, J. L., BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. 1992. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. R. Bras.Ci. Solo, 16: 79-88.
- CRUZ, M.C.P. & FERREIRA, M.E. 1984. Seleção de métodos para avaliação do boro disponível em solos. In: Pesq. Agropec. Bras. Brasília 19:1457-64.

- DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P. 1991. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPQ, p 113-130.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A. C. 1997. Análises químicas do solo: metodologia 2ª edição. UFV, Viçosa, Imprensa Universitária, 26p.
- EMBRAPA. 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: 1.ed, 370p.
- EMBRAPA. 1997. Manual de Métodos de Análises do Solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p.
- EVANS, L.J. 1987. Retention of boron by agricultural soils from Ontario. Can. J. Soil Sci., 67: 33-42.
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. 1991. Cobre. In: In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPQ, p 131-57.
- FERREIRA, G.B., FONTES, R. L. F., FONTES, M. P. F. & ALVAREZ V., V. H. 2001. Influência de algumas características do solo nos teores de Boro disponível. Rev. Bras. Ci. Solo, Viçosa, 25:91-101.
- FERREIRA, G. B. 2003. Dinâmica das frações de cobre, ferro, manganês e zinco e do B disponível em solos de Minas Gerais e sua sustentabilidade para produção de eucalipto. Viçosa, UFV, 143p. (Tese de Doutorado)
- FUNDAÇÃO CARGILL. 1982. Micronutrientes. Campinas, fundação Cargill, 124p.
- GOLDBERG, S. 1997. Reactions of boron with soils. Plant and Soil 193: 35-48.
- GRUPTA, U. C. 1979. Boron nutrition of crops. Advances in agronomy, 31: 273-307.
- HAQ, A.U., MILLER, M.H. 1972. Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. Agron. J., 64: 779-782.
- HARTMANN, L.K. 2001. Disponibilidade de Zinco para café influenciada pela correção da acidez e localização de fósforo no solo. Viçosa, UFV, 65p. (Tese de Mestrado)

- HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. 1973. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV Zinco na zona Litoral-Mata. *Pesq. Agropec. Bras.*, 8:169-76.
- HATCHER, J.T.; BOWER, C. A.; CLARK, M. 1967. Adsorption of boron by soils as influenced by hidroxí aluminum and suface area. *Soil Science*, Baltimore, 104: 422-6.
- IGUE, K. & BORNEMISZA, E. 1967. El problema Del Zn em suelos y plantas de regiones tropicales y de zonas templadas. *Fitotecnia Latinoamericana*, San José, 4: 29-44.
- JIN, J., MARETENS, D.C. & ZELAZNY, L.W. 1987. Distribution and plant availability of soil boron fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v51, p.1228-1231.
- LINDSAY, W.L. 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrients. In: MORTVEDET, J.J. et al. *Micronutrients in agriculture*. 2 ed. Madison, Winsconsin: Soil Sci. Soc. Am., p 89-111.
- LINDSAY, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. New York, Jonh Wiley and Sons, 449p.
- LINNSAY, W.L. & NORVELL, W.A. 1978. Development of a DTPA Soil of Zinc, Iron, Manganese and Copper. In: *Soil Sci. Soc. Am.*, 42: 421-428.
- McBRIDE, M. B. 1981. Forms and distribution of cooper in solid and solution phases of soil. In: LONERAGAN, J.F., ROBSON, A. D. & GRAHAM, R.D., ed. *Copper in soils and plants*. Sidney, Academic Press, p 25-45.
- MATOS, A.T., FONTES, M.P.F., JORDÃO, C.P. & COSTA, L.M. 1996. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 20:379-86.
- McLAREN, R.G. & CRAWFORD, D.V. 1973. Studies on soil copper. II. The specific adsorption of copper by soils. *Journal of Soil Sci.*, Oxford, 24:443-52.
- McLAREN, R.G., WILLIAMS, J.G. & SWIFT, R.S. 1983. Some observations on the desorption and distribution behaviour of copper with soil components. *Journal of Soil Science*, Oxford, 34:325-31.

- MEHLICH, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:1409-16.
- MENEZES, A.A. 1998. Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Viçosa, UFV, 52 p. (Tese de Mestrado)
- MENGEL, U. & KIRKBY, E.A. 1987. Principles of plant nutrition. 4 ed. Bern: international Potash Institute, 687p.
- MEZUMAN., U. & KEREN, R. 1981. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:722-26.
- NASCIMENTO, C.W.A. 2001. Dessorção, Extração e Fracionamento de Zinco, Cobre e Manganês em Solos. Viçosa, UFV, 60p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Editora UFV, 399 p.
- OKAZAKI, E. & CHAO, T.T. 1968. Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. *Soil Science, Baltimore*, 105: 255-9.
- OLIVEIRA, M.F.G., NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., VASCONCELOS, C.A. & ALVES, V. M. 1999. Relação entre o zinco disponível, por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 23:827-36.
- PADMANAGHAN, M. 1983. Adsorption-desorption behaviour of copper (II) at the goethite-solution interface. *Australian Journal of soil Research*, East Melbourne, 21:309-20.
- PARKS, W.L. & WHITE, J.L. 1952. Boron retention by clay humus systems saturated with various cations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 11:216-20.
- PICHERING, W.F. 1981. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. *Crit. Rev. Chem.*, 12: 233-266.
- RANDHAWA, N. S. & BROADBENT, F.E. 1965. Soil organic matter-metal complexes: Reactions of zinc with model compounds and humic acid. *Soil Science, Baltimore*, 99:295-300.

- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO, S. W.A. 1984. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. Rev. Bras. Ci. Solo 8: 85-89.
- RIBEIRO, A.C. 1974. Adsorção de boro pelo solo. Viçosa-MG: UFV, 38p. (Tese de Mestrado)
- RUY, V.M. 1986. Contribuição para o estudo do B disponível em solos. Piracicaba: ESALQ-USP, 104p. (Tese de Mestrado).
- SHUMAN, L.M. 1977. Adsorption of zinc by iron and aluminum hydroxides as influenced by aging and pH. Soil Sci. Soc. of Am. J. 41:70-6.
- SHUMAN, L.M. 1986. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron and zinc among soil fractions. Soil Sci. Soc. of Am. J. 50:1236-40.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. 1967. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. I: Layer silicates. Soil Sci. Soc. Am. Proc.,31: 728-32.
- SIMS, J.R. & BINGHAM, F.T. 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. III: Iron and aluminum coated layer silicates and soil materials. Soil Sci. Soc. Am. J., 32:369-373.
- SIMS, T. J. 1986. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 367-373.
- SOUZA, E.C.A. & FERREIRA, M.E. 1991. Zinco. In: FERREIRA, M.E & CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: Potafos/Cnpq, 734p.
- STEVENSON, F.J. & FITCH, A. 1981. Reactions with organic matter. In: LONERAGAN, J.F., ROBSON, A. D. & GRAHAM, R.D., ed. Copper in soils and plants. Sidney, Academic Press, p 69-96.
- TSADILLAS, C.D. YASSOGLOU, N., KOSMAS, C. S. & KALLIANOU, ch. 1994. The availability of soil boron fraction to olive tree and barley and their relationships to soil properties. Plant and Soil, The Hague, 162: 211-217.

7. APÊNDICE

Quadro 16- Coeficientes de correlação linear simples entre algumas características dos solos

	SARG	T	C orgânico	P rem	E.U
Argila	0,91 ^{***}	0,57 ^{**}	0,68 ^{***}	-0,73 ^{***}	0,84 ^{***}
SARG		0,51 ^{**}	0,66 ^{***}	-0,66 ^{***}	0,92 ^{***}
T			0,88 ^{***}	-0,31 ^{ns}	0,69 ^{***}
C orgânico				-0,51 [*]	0,80 ^{***}
P rem					- 0,47 [*]

SARG - silte + argila , E.U – equivalente de umidade , P rem - fósforo remanescente e T - CTC a pH 7,0.