

FERNANDO ANTONIO VIEIRA RODRIGUES

**DISPONIBILIDADE DE COBRE E ZINCO PARA MUDAS DE
EUCALIPTO EM SOLOS DE CERRADO**

**Dissertação 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 *Magister
Scientiae*.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

FERNANDO ANTONIO VIEIRA RODRIGUES

**DISPONIBILIDADE DE COBRE E ZINCO PARA MUDAS DE
EUCALIPTO EM SOLOS DE CERRADO**

**Dissertação 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 *Magister
Scientiae*.**

APROVADA: 18 de fevereiro de 2009.

Prof. Júlio César Lima Neves
(Coorientador)

Prof. Víctor Hugo Alvarez V.
(Coorientador)

Prof. Roberto Ferreira de Novais

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva

Prof. Nairam Félix de Barros
(Orientador)

**“SÓ EXISTEM DOIS DIAS NO ANO EM QUE NADA PODE SER FEITO.
UM SE CHAMA ONTEM E O OUTRO SE CHAMA AMANHÃ, PORTANTO
HOJE É O DIA CERTO PARA AMAR, ACREDITAR, FAZER E
PRINCIPALMENTE VIVER”.**

(DALAI LAMA)

“PASSE DO PLANO DO CHORO PARA O PLANO DA AÇÃO”.

(AUTOR DESCONHECIDO)

A Deus

Aos meus pais Adalgizo e Jussara

Aos meus irmãos Welington e Álisson

À minha irmã Daniela

À minha amada Adriana

Aos meus amigos

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, força e perseverança para jamais desistir dos meus objetivos e conduzir os meus passos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização dos cursos de graduação e pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo durante o mestrado.

Ao professor Nairam Félix de Barros, pela oportunidade, confiança, paciência, exemplo e ensinamentos.

Aos professores Júlio César Lima Neves, Víctor Hugo Alvarez V., Roberto Ferreira Novais e Haroldo Nogueira de Paiva, pelas sugestões, ensinamentos e exemplo de profissionalismo.

Aos amigos com os quais tive a oportunidade de compartilhar momentos marcantes de minha vida, em especial Jarbas, Helton Maicon, David e Bruno Neves.

Aos funcionários do DPS por toda a ajuda, colaboração e convívio: Luciana, Zélia, Claudinho, Bené, Fabinho, Beto, José Luís, Geraldo, Carlinhos, Carlos Fonseca, Janilson, José Francisco, Francisco, Jorge Orlando, Ciro e Cardoso.

Aos meus pais Adalgizo e Jussara pelos incentivos à minha formação acadêmica, por minha formação moral, pelos conselhos, pela amizade e amor. À minha irmã Daniela, pelo carinho e incentivo. Aos meus irmãos Welington e Álisson, pelo respeito, amizade e companherismo.

À minha esposa Adriana, pelo carinho, compreensão, força e companheirismo em momentos especiais de minha vida, que me ajudaram a vencer mais essa etapa.

BIOGRAFIA

FERNANDO ANTONIO VIEIRA RODRIGUES, filho de Adalgizo Luiz Obregon Rodrigues e Jussara Vieira Rodrigues, nasceu em 22 de outubro de 1978, em São Borja – RS.

Estudou na Escola Municipal José Rodrigues onde cursou o ensino fundamental. Em 1995, concluiu o curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de São Vicente do Sul – RS, e em 1996 concluiu o curso Pós-Técnico em Zootecnia na Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa – ES. Entre 1997 e 2002, trabalhou na iniciativa privada no setor de mineração.

Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa – MG em 2002, onde foi monitor das disciplinas de Botânica e Fertilidade do Solo. Em março de 2007 diplomou-se Engenheiro Agrônomo e no mesmo mês iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, no Departamento de Solos da mesma instituição.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS.....	4
<i>CAPÍTULO 1</i>	6
DISPONIBILIDADE DE COBRE PARA MUDAS DE EUCALIPTO EM SOLOS DE CERRADO	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
3.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA	11
3.2. TEORES DE CU DISPONÍVEIS NO SOLO	14
3.3. RELAÇÃO ENTRE CU NA PARTE AÉREA DAS MUDAS E DOSES APLICADAS	17
3.4. RELAÇÃO ENTRE TEOR NATURAL DE CU NO SOLO E CU NA PLANTA	19
3.5. CARACTERÍSTICAS DO SOLO E RECUPERAÇÃO DE CU PELOS EXTRATORES	20
3.6. COBRE NO SOLO E EM DIFERENTES PARTES DA PLANTA	23
4. CONCLUSÕES	25
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
<i>CAPÍTULO 2</i>	29
DISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA MUDAS DE EUCALIPTO EM SOLOS DE CERRADO	29
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA	34
3.2. TEORES DE ZN DISPONÍVEIS NO SOLO	38
3.3. RELAÇÃO ENTRE ZN NA PARTE AÉREA DAS MUDAS E DOSES APLICADAS	40
3.4. RELAÇÃO ENTRE TEOR NATURAL DE ZN NO SOLO E ZN NA PLANTA	41
3.5. CARACTERÍSTICAS DO SOLO E RECUPERAÇÃO DE ZN PELOS EXTRATORES	43
3.6. ZINCO NO SOLO E EM DIFERENTES PARTES DA PLANTA	45
4. CONCLUSÕES	47
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
CONCLUSÕES GERAIS	51
APÊNDICE	52

RESUMO

RODRIGUES, Fernando Antonio Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Disponibilidade de cobre e zinco para mudas de eucalipto em solos de Cerrado**. Orientador: Nairam Félix de Barros. Coorientadores: Júlio César Lima Neves e Víctor Hugo Alvarez V.

O Brasil é um dos maiores produtores de celulose, papel e carvão vegetal do mundo, e as atividades relacionadas às florestas plantadas contribuem com 3,5 % do Produto Interno Bruto (PIB) do país. O eucalipto é a essência florestal que se destaca, com uma área plantada de 3,75 milhões de hectares e o Estado de Minas Gerais possui em torno de 28 % dessa área plantada. No Brasil, com a intensificação da silvicultura clonal e o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente têm aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes, principalmente de B, e, mais recentemente, de Cu e Zn, especialmente em áreas de Cerrado. Este trabalho teve por objetivo avaliar três métodos de determinação da disponibilidade de Cu e de Zn (Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) para mudas de eucalipto cultivadas em casa de vegetação, em amostras de seis solos do Estado de Minas Gerais (um de João Pinheiro, dois de Vazante, um de Três Marias e dois de Curvelo) e a influência de propriedades do solo na eficiência desses extratores. Foram realizados dois experimentos, um para cada micronutriente. Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 6 x 5, correspondendo a seis solos e cinco doses do micronutriente, com quatro repetições, em blocos ao acaso. As doses foram de 0, 2, 4, 8 e 16 mg dm⁻³ de Cu e de 0, 2,5, 5, 10 e 20 mg dm⁻³ de Zn, na forma de cloreto de Cu e Zn, respectivamente. Após 70 dias de crescimento, as plantas foram cortadas em duas porções distintas, sendo uma apical (terço apical de todos os ramos da planta) e a outra basal (restante da planta cortada rente ao solo). Os níveis críticos de Cu e de Zn em solos de Cerrado, para o crescimento de mudas de eucalipto, são iguais ou inferiores a 0,12 e 0,23 mg dm⁻³ pelo Mehlich-1 e iguais ou inferiores a 0,09 e 0,05 mg dm⁻³ pelo DTPA, respectivamente. Os teores de Cu e de Zn no solo e na planta, bem como os respectivos conteúdos, aumentam com a elevação das doses adicionadas desses nutrientes. Os teores e conteúdos de Cu e de Zn na planta mostram estreita relação com os teores extraídos pelos três extratores. Os teores de Cu e de Zn extraídos pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA são altamente correlacionados entre si. O teor de matéria orgânica e o P-remanescente são características dos solos que mais influenciam

negativamente nas taxas de recuperação de Cu e de Zn pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, enquanto que para o DTPA, as taxas de recuperação são mais influenciadas pelo pH. O Mehlich-1 é o extrator mais recomendado para avaliar a disponibilidade de Cu e de Zn para mudas de eucalipto, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país.

ABSTRACT

RODRIGUES, Fernando Antonio Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2009. **Copper and zinc availability to eucalypts seedlings in Cerrado soils**. Advisor: Nairam Félix de Barros. Co-Advisors: Júlio César Lima Neves and Víctor Hugo Alvarez V.

Brazil is one of the biggest producers of cellulose, paper and vegetal coal of the world, and the activities related to planted forests contribute to 3.5 % of the Gross Domestic Product (PIB) of the country. The eucalypt is the forest essence that stands out, with a planted area of 3.75 millions of hectares, and the state of Minas Gerais has about 28 % of this planted area. In Brazil, with the intensification of the clonal sivilculture, the management of genetic materials that are more productive and more nutritional demanding has increased the appearance of symptoms of micronutrients deficiency, mainly of B, and, more recently, of Cu and Zn, especially in areas of Cerrado. The aim of this study was to evaluate three methods of determining Cu and Zn availability (Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA pH 7.3) to eucalypts seedlings cultivated under greenhouse conditions, in samples of six soils from Minas Gerais state (one sample from João Pinheiro, two from Vazante, one from Três Marias and two from Curvelo) and the influence of the properties of the soil in the efficiency of these extractors. Were realized two experiments, one for each micronutrient. The treatments were arranged in a randomized block design, with four replications, in a factorial scheme of 6 x 5, corresponding to six soils and five doses of micronutrient. The doses were 0, 2, 4, 8 and 16 mg dm⁻³ of Cu and 0, 2.5, 5, 10 and 20 mg dm⁻³ of Zn, in the form of Cu and Zn chloride, respectively. After 70 days of growth, the plants were cut into two distinct portions, one being apical (apical third of all the branches of the plant) and the other being basal (the rest of the plant cut down near the ground level). The criticals levels of Cu and Zn in soils from Cerrado, to the growth of eucalypts seedlings, are equal or inferiors to 0.12 and 0.23 mg dm⁻³ by the Mehlich-1 and are equal or inferiors to 0.09 and 0.05 mg dm⁻³ by the DTPA, respectively. The concentrations of Cu and Zn in the soil and in the plant, as well as the respectives contents, increase with the elevation of the additional doses of these nutrients. The concentrations and the contents of Cu and Zn in the plant show close relation to the contents extracted by the three extractors. The concentrations of Cu and Zn extracted by Mehlich-1, Mehlich-3 and by DTPA were strongly correlated. The content of organic matter and the P-remanescent

are the characteristics of the soils which most negatively influence in the recovering rates of Cu and Zn by the extractors Mehlich-1 and Mehlich-3, while for the DTPA, the recovering rates are more negatively influenced by the pH. The Mehlich-1 is the most recommended extractor to evaluate Cu and Zn availability to eucalypts seedlings. First because the method is easy to handle when compared to other methods, and second because it is a method which has already been used by the great majority of the labs in the country.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos maiores produtores de celulose, papel e carvão vegetal do mundo, e as atividades relacionadas às florestas plantadas contribuem com 3,5 % do Produto Interno Bruto (PIB) do país. O eucalipto é a essência florestal que se destaca, com uma área plantada de 3,75 milhões de hectares e o Estado de Minas Gerais possui em torno de 28 % dessa área plantada (ABRAF, 2008).

Os plantios florestais com eucalipto no Brasil, de modo geral, ocupam áreas já degradadas pelo uso agrícola ou pecuário, em solos com elevado grau de degradação física, química e biológica, e com baixa fertilidade natural, em sua maioria (Barros & Comerford, 2002). Os plantios florestais representam alternativa para a recuperação dessas áreas, além de mitigarem o aumento de CO₂ na atmosfera.

Na região tropical, radiação e temperatura não são limitantes e os fatores que determinam a produtividade florestal são, principalmente, água e nutrientes (Barros & Comerford, 2002). Mesmo sendo considerada uma essência florestal eficiente quanto ao uso dos nutrientes, em solos de baixa fertilidade, elevados ganhos de produtividade do eucalipto têm sido obtidos pela aplicação de adubos (Barros & Novais, 1996; Barros et al., 2005).

No Brasil, a intensificação da silvicultura clonal e o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente têm aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes, principalmente de B, e, mais recentemente, de Cu e Zn, especialmente em áreas de Cerrado. Até então, os programas de adubação de eucalipto voltaram-se ao suprimento de macronutrientes, com poucas empresas utilizando micronutrientes, à exceção do B (Pinheiro, 1999; Bouchardet, 2002).

Em plantas jovens a deficiência de Cu é caracterizada primeiramente pelo lançamento de ramos laterais pendentes devido à má lignificação. As folhas expandidas tornam-se retorcidas com as margens podendo apresentar bordas irregulares. Em plantas com severa deficiência de Cu, ocorre morte de ponteiro, os ramos laterais ficam de tamanho reduzido, e ocorre superbrotção com a ausência de um caule principal. A deficiência de Cu tem causado mais danos físicos às plantações, pois as árvores com este problema apresentam galhos alongados e frágeis que se quebram com facilidade, causando deformação da copa (Marschner, 1995).

Árvores deficientes em Zn são raquíticas com as folhas pequenas e aglomeradas. Com o aumento da severidade da deficiência, as novas folhas diminuem em tamanho e os internódios ficam mais curtos. As pontas das folhas e regiões internas do limbo podem tornar-se necróticas. Algumas das necroses podem ser atribuídas ao acúmulo de altas concentrações de P decorrente de adubação com excesso deste elemento. A deficiência de Zn ocorre com maior frequência no período seco, resultando em plantas de tamanho reduzido, com entrenós mais curtos e folhas novas pequenas e lanceoladas (Marschner, 1995; Dell et al., 2001).

Observações de campo indicam que a ocorrência e a intensidade dos sintomas variam com o tipo de solo, época do ano, material genético, dentre outros fatores e que, de modo geral, esses sintomas desaparecem com o avanço da idade das plantas.

As deficiências de Cu e de Zn são mais frequentes em solos argilosos e mais avermelhados e escuros (mais ricos em óxi-hidróxidos de Fe e Mn e matéria orgânica, os quais controlam a disponibilidade desses micronutrientes em solução) (Harter, 1991; Stevenson, 1991; Nascimento et al., 2002).

A avaliação da disponibilidade de nutrientes é feita, em geral, pelo uso de extratores químicos, sendo ideal aquele que extrai as formas absorvíveis pelas plantas e que apresenta adequação aos laboratórios de rotina. Além disso, os teores obtidos devem se correlacionar estreitamente com as respostas das culturas sem e com aplicação dos nutrientes no solo e em várias condições de ambiente e manejo (Bray, 1948). Dada a dificuldade de atender a todas essas premissas, é que estudos como este se fazem necessários.

Embora amplamente utilizada para diagnosticar a disponibilidade de macronutrientes com métodos bem definidos, a análise química do solo para micronutrientes tem ainda uso limitado e padrões indefinidos na área florestal. Para culturas agrícolas, diversos métodos de extração têm sido utilizados para quantificar os teores de micronutrientes catiônicos no solo, destacando-se o Mehlich-1 e o DTPA.

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 ($\text{HCl } 50 \text{ mmol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 12,5 \text{ mmol L}^{-1}$) (Mehlich, 1953) e é de uso generalizado no Brasil. A extração baseia-se, principalmente, na solubilização pelo efeito da acidez, com o pH na faixa de 1,2.

O extrator Mehlich-3 ($\text{NH}_4\text{F } 15 \text{ mmol L}^{-1}$, $\text{CH}_3\text{COOH } 200,0 \text{ mmol L}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ } 250 \text{ mmol L}^{-1}$, $\text{HNO}_3 \text{ } 13 \text{ mmol L}^{-1}$ e o EDTA 1 mmol 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 na solubilização pelo efeito da acidez, com o pH na faixa de 2,5 e na complexação dos micronutrientes realizadas pelo EDTA.

O extrator DTPA pH 7,3 (ácido dietilenotriaminopentaacético 5 mmol L⁻¹ + trietanolamina 100 mmol L⁻¹ + cloreto de cálcio 10 mmol L⁻¹) proposto por Lindsay & Norvell (1978), combina com íons metálicos em solução formando complexos solúveis. Com a diminuição de sua atividade, os íons desorvem do solo ou ocorre dissolução da fase sólida para repor 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.

Um nutriente disponível para a planta é aquele que está na solução do solo e, principalmente, aquele adsorvido as partículas do solo em equilíbrio com a solução, capaz de ser absorvido pelas raízes. Operacionalmente, corresponde ao teor do nutriente recuperado do solo por dado extrator químico que se correlaciona estreitamente com o conteúdo na planta (Alvarez V., 1996).

Várias propriedades do solo governam a disponibilidade de um determinado nutriente para as plantas, por controlarem a concentração dos nutrientes na solução do solo (Kabata-Pendias, 2004), tendo-se, dentre elas, pH, teor de argila, matéria orgânica, etc. A inclusão dessas propriedades no modelo, em geral, melhora o relacionamento entre os teores foliares e os teores no solo obtidos com algum método de extração (Krishnamurti & Naidu, 2002; Lombnaes & Singh, 2003; Obrador et al., 2007).

Este trabalho teve por objetivo avaliar três métodos de determinação da disponibilidade de Cu e de Zn (Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) para mudas de eucalipto cultivadas em casa de vegetação, em amostras de seis solos do Estado de Minas Gerais e a influência de propriedades do solo na eficiência desses extratores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2007. Brasília, DF: 2008. 90p.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise 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 sustentado. Viçosa, SBCS, 1996, p.615-645.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.
- BARROS, N.F. & COMMERFORD, N.B. Sustentabilidade da Produção de Florestas Plantadas na Região Tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em Ciência do Solo II. Viçosa, SBCS, 2002, p.487-592.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. *Visão Agrícola*, 2005, 4:76-79.
- BRAY, R.H. Requirements for successful soils tests. *Soil Sci.*, 1948, 66:83-89.
- BOUCHARDET, J.A. Crescimento características físicas e anatômicas da madeira juvenil de dois clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em resposta à aplicação de boro. Piracicaba, ESALQ, 2002, 69p. (Dissertação de Mestrado)
- DELL, B.; MALAJCZUK, D.; XU, D. & GROVE, T.S. Nutrient disorders in plantation eucalypts. 2.ed. Canberra, ACIAR, 2001, 188p.
- HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption 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.59-53.
- KABATA-PENDIAS, A. Soil-plant transfer of trace elements: An environmental issue. *Geoderma*, 2004, 122:143-149.
- KRISHNAMURTI, G.S.R. & NAIDU, R. Solid-solution speciation and phytoavailability of copper and zinc in soils. *Environ. Sci. Technol.*, 2002, 36:2645-2651.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developemnt of a DTPA soil of zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Soc. Am. Jou.*, 1978, 42:421-428.
- LOMBNAES, P. & SINGH, B.R. Predicting Zn and Cu status in cereals – potential for a multiple regression model using soil parameters. *J. Agri. Sci.*, 2003, 141:349-357.

- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1995, 889p.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. Raleigh, North Carolina Soil Test Div., 1953. (não publicado)
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Science Plant Anal.*, 1984, 15:1409-1416.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, L.C.L. & MELICIO, A.C.F.D. Fracionamento, dessorção e extração química de Zn em Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 2002, 26:599-606.
- OBRADOR, A.; ALVAREZ, J.M.; LOPEZ-VALDIVIA, L.M.; GONZALEZ, D.; NIVILLO, M.I. & RICO, M.I. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acid soils and their uptake by a barley crop. *Geoderma*, 2007, 137:432-443.
- PINHEIRO, A.L. Reflexos da fertilização mineral de boro na estrutura anatômica, no crescimento e na seca-de-ponteiro de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no Cerrado de Minas Gerais. Curitiba, UFPR, 1999, 191p. (Tese de Doutorado)
- 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.145-181.

CAPÍTULO 1

DISPONIBILIDADE DE COBRE PARA MUDAS DE EUCALIPTO EM SOLOS DE CERRADO

RESUMO

No Brasil, com a intensificação da silvicultura clonal, o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente tem aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes, principalmente de B, e, mais recentemente, de Cu e Zn, especialmente em áreas de Cerrado. Este trabalho teve por objetivo avaliar três métodos de determinação da disponibilidade de Cu (Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) para mudas de eucalipto cultivadas em casa de vegetação, em amostras de seis solos do Estado de Minas Gerais (um de João Pinheiro, dois de Vazante, um de Três Marias e dois de Curvelo) e a influência de propriedades do solo na eficiência desses extratores. Os tratamentos foram arranjos no esquema fatorial 6 x 5, correspondendo a seis solos e cinco doses de Cu, com quatro repetições, em blocos ao acaso. As doses de Cu foram 0, 2, 4, 8 e 16 mg dm⁻³, na forma de cloreto de Cu. Após 70 dias de crescimento, as plantas foram cortadas em duas porções distintas, sendo uma apical (terço apical de todos os ramos da planta) e a outra basal (restante da planta cortada rente ao solo). Os níveis críticos de Cu em solos de Cerrado, para o crescimento de mudas de eucalipto, são iguais ou inferiores a 0,12 e 0,09 mg dm⁻³, pelos extratores Mehlich-1 e DTPA, respectivamente. Os teores de Cu no solo e na planta, bem como o respectivo conteúdo, aumentam com a elevação das doses adicionadas desse nutriente. Os teores e conteúdos de Cu na planta mostram estreita relação com os teores extraídos pelos três extratores. Os teores de Cu extraídos pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA são altamente correlacionados entre si. O teor de matéria orgânica e o P-remanescente são características dos solos que mais influenciam negativamente nas taxas de recuperação de Cu pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, enquanto que para o DTPA, as taxas de recuperação são mais influenciadas pelo pH. O Mehlich-1 é o extrator mais recomendado para avaliar a disponibilidade de Cu para mudas de eucalipto, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país.

CUPPER AVAILABILITY FOR EUCALYPT SEEDLINGS IN CERRADO SOILS

ABSTRACT

In Brazil, with the intensification of the clonal sivilculture, the management of genetic materials that are more productive and more nutritional demanding has increased the appearance of symptoms of micronutrients deficiency, mainly of B, and, more recently, of Cu and Zn, especially in areas of Cerrado. The aim of this study was to evaluate three methods of determining Cu availability (Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA pH 7.3) to eucalypts seedlings cultivated under greenhouse conditions, in samples of six soils from Minas Gerais state (one sample from João Pinheiro, two from Vazante, one from Três Marias and two from Curvelo) and the influence of the properties of the soil in the efficiency of these extractors. The treatments were arranged in a randomized block design, with four replications, in a factorial scheme of 6 x 5, corresponding to six soils and five doses of Cu. The doses of Cu were 0, 2, 4, 8 and 16 mg dm⁻³, in the form of Cu chloride. After 70 days of growth, the plants were cut into two distinct portions, one being apical (apical third of all the branches of the plant) and the other being basal (the rest of the plant cut down near the ground level). The critical levels of Cu in soils from Cerrado, to the growth of eucalypts seedlings, by the extractors Mehlich-1 and DTPA, are equal or inferior to 0.12 and 0.09 mg dm⁻³, respectively. The concentration of Cu in the soil and in the plant, as well as the respective content, increase with the elevation of the additional doses of this nutrient. The concentration and the content of Cu in the plant show close relation to the content extracted by the three extractors. The concentration of Cu extracted by Mehlich-1, Mehlich-3 and by DTPA were strongly correlated. The content of organic matter and the P-remanescent are the characteristics of the soils which most negatively influence in the recovering rates of Cu by the extractors Mehlich-1 and Mehlich-3, while for the DTPA, the recovering rates are more negatively influenced by the pH. The Mehlich-1 is the most recommended extractor to evaluate Cu availability to eucalypts seedlings. First because the method is easy to handle when compared to other methods, and second because it is a method which has already been used by the great majority of the laboratories the country.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o eucalipto ocupa uma área plantada de 3,75 milhões de hectares e o Estado de Minas Gerais possui em torno de 28 % dessa área plantada (ABRAF, 2008).

Os plantios florestais com eucalipto no Brasil, de modo geral, ocupam áreas já degradadas pelo uso agrícola ou pecuário, em solos com elevado grau de degradação física, química e biológica, e com baixa fertilidade natural, em sua maioria (Barros & Comerford, 2002).

Na região tropical, radiação e temperatura não são limitantes e os fatores que determinam a produtividade florestal são, principalmente, água e nutrientes (Barros & Comerford, 2002). Mesmo sendo considerada uma essência florestal eficiente quanto ao uso dos nutrientes, em solos de baixa fertilidade, elevados ganhos de produtividade do eucalipto têm sido obtidos pela aplicação de adubos (Barros & Novais, 1996; Barros et al., 2005).

No Brasil, com a intensificação da silvicultura clonal e o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente têm aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes, principalmente de B, e, mais recentemente, de Cu e Zn, especialmente em áreas de Cerrado. Até então, os programas de adubação de eucalipto voltaram-se ao suprimento de macronutrientes, com poucas empresas utilizando micronutrientes, à exceção do B (Pinheiro, 1999; Bouchardet, 2002).

A deficiência de Cu tem causado mais danos físicos às plantações, pois as árvores com este problema apresentam galhos alongados e frágeis que se quebram com facilidade, causando deformação da copa (Marschner, 1995; Dell et al., 2001). Observações de campo indicam que a ocorrência e a intensidade dos sintomas variam com o tipo de solo, época do ano, material genético, dentre outros fatores e que, de modo geral, esses sintomas desaparecem com o avanço da idade das plantas.

A deficiência de Cu é mais freqüente em solos argilosos e mais avermelhados e escuros (mais ricos em óxi-hidróxidos de Fe e Mn e matéria orgânica, os quais controlam a disponibilidade desses micronutrientes em solução) (Harter, 1991; Stevenson, 1991; Nascimento et al., 2002).

A avaliação da disponibilidade de nutrientes é feita, em geral, pelo uso de extratores químicos, sendo ideal aquele que extrai as formas absorvíveis pelas plantas e que apresenta adequação aos laboratórios de rotina. Além disso, os teores obtidos devem

se correlacionar estreitamente com as respostas das culturas sem e com aplicação dos nutrientes no solo e em várias condições de ambiente e manejo (Bray, 1948). Dada a dificuldade de atender a todas essas premissas, é que estudos como este se fazem necessários.

Este trabalho teve por objetivo avaliar três métodos de determinação da disponibilidade de Cu (Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) para mudas de eucalipto cultivadas em casa de vegetação, em amostras de seis solos do Estado de Minas Gerais e a influência de propriedades do solo na eficiência desses extratores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Com base nos dados obtidos por Sequeira (2007), foram coletadas amostras de solos de áreas de plantios comerciais de eucalipto na região do cerrado do Estado de Minas Gerais (Quadro 1).

Quadro 1. Caracterização química e física dos seis solos utilizados no estudo

Solo*	pH ⁽¹⁾	Ca ²⁺⁽²⁾	Mg ²⁺⁽²⁾	Al ³⁺⁽²⁾	H+Al ⁽³⁾	P ⁽⁴⁾	K ⁽⁴⁾	MO ⁽⁵⁾	P-rem ⁽⁶⁾	Argila ⁽⁷⁾
	(H ₂ O)	cmolc dm ⁻³				mg dm ⁻³		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	%
1	4,82	0,20	0,08	0,75	5,00	64,8	14	2,05	37,3	20,1
2	5,71	2,26	2,12	0,00	6,25	2,3	238	4,80	16,7	55,3
3	5,49	0,91	1,05	0,24	5,98	0,6	92	3,30	13,9	60,7
4	4,66	0,20	0,08	0,94	7,95	0,9	17	3,87	22,3	42,6
5	4,92	0,31	0,31	0,68	5,60	0,5	46	2,91	24,2	56,1
6	5,06	0,63	0,14	0,80	4,05	1,0	51	2,02	35,3	35,0

* Origem dos solos: João Pinheiro (1), Vazante (2 e 3), Três Marias (4) e Curvelo (5 e 6); ⁽¹⁾ pH em água - relação 1:2,5; ⁽²⁾ Ca, Mg e Al - extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁽³⁾ H+AL - extrator CaOAc 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; ⁽⁴⁾ P e K - extrator Mehlich-1; ⁽⁵⁾ MO - C. org. x 1,724 -Walkley Black; ⁽⁶⁾ P-rem - fósforo remanescente - Alvarez V. et al., (2000); ⁽⁷⁾ Argila - Ruiz (2005).

Antes da aplicação dos tratamentos, as amostras dos solos foram secadas e passadas em peneira com malha de 4,0 mm de diâmetro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de julho a outubro de 2008. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 1,8 dm³ de solo com duas mudas clonais de eucalipto (*E. grandis* x *E. urophylla*).

Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 6 x 5, correspondendo a seis solos e cinco doses de Cu, com quatro repetições, em blocos ao acaso. As doses de Cu foram 0, 2, 4, 8 e 16 mg dm⁻³, na forma de cloreto de Cu.

Além da dose de Cu, cinco dias antes do transplante, foi aplicada uma adubação básica (Alvarez V., 1974) em todas as unidades experimentais. Para facilitar a homogeneização com todo o volume de solo, os adubos foram dissolvidos em água. A adubação antes do transplante constituiu-se, em mg dm^{-3} , de 100 de N (fosfato de amônio), 300 de P (fosfatos de amônio, de K e de Ca), 165 de K (fosfato de K), 70 de S (sulfato de K), 0,15 de Mo (molibdato de amônio), 2,0 de B (ácido bórico), 5,0 de Zn (cloreto de Zn) e 4,0 de Mn (sulfato de Mn); em cobertura, aos 20 e 35 dias após o transplante, foram aplicados 25 de N (uréia) e 0,88 de Fe (sulfato ferroso). Para os solos com teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} menores do que 1,0 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, foram aplicados cloretos de Ca e de Mg para atingir esses teores, de modo a não aumentar o pH do solo.

Imediatamente após a adubação básica de plantio e aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras de 300 cm^3 e mantidas incubadas por 15 dias. Após esse período, as amostras de solo foram secadas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm de diâmetro (TFSA) para análise dos teores de Cu pelos extratores Mehlich-1 (Mehlich, 1953), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) e DTPA (Lindsay & Norvell, 1978), que foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica.

A relação solo:extrator para o Mehlich-1 e Mehlich-3 foi de 1:10, sendo usados 5 cm^3 de solo e 50 mL de extrator, agitados a 200 rpm por 5 min em agitador horizontal e os extratos pipetados após 16 h de repouso. Para o DTPA a relação foi de 1:2, ou seja, 10 cm^3 de solo e 20 mL de extrator, agitados por 2 h no mesmo agitador e rotação, sendo logo em seguida filtrado em papel de filtragem lenta.

No momento do transplante, as mudas, provenientes do enraizamento de miniestacas, tinham altura média em torno de 15 cm. As raízes das mudas foram lavadas cuidadosamente com água para remover porções do substrato, eventualmente aderidas ao sistema radicular. Foi feita uma seleção das mudas por altura separando-as em cada bloco. Os tratamentos foram aplicados em cada unidade experimental em separado. Durante todo o experimento, foi feito, semanalmente, o rodízio dos vasos.

Após 70 dias de crescimento, as plantas foram cortadas em duas porções distintas, sendo uma apical (terço apical de todos os ramos da planta) e a outra basal (restante da planta cortada rente ao solo), acondicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação forçada de ar por 72 h a $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Depois, foram pesadas para obtenção da matéria seca e moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm e submetidas à digestão nítrico-perclórica na proporção 3,5:1. Utilizaram-se amostras de

0,50 g do material seco e moído em 9 mL de solução digestora à temperatura de 130 °C e posteriormente até, no máximo, 220 °C. No extrato obtido, foram determinadas as concentrações de Cu por espectrofotometria de absorção atômica.

O corte das plantas em porções distintas objetivou melhorar o entendimento de qual das variáveis, teor ou conteúdo, e em qual porção da planta (basal, apical ou planta toda) melhor se relaciona com os teores disponíveis no solo. Para isso, calcularam-se os conteúdos de Cu na planta toda somando os conteúdos da porção apical e basal. Os teores na planta toda foram calculados pelo quociente entre o conteúdo na parte aérea e a produção de matéria seca da parte aérea.

Os teores de Cu obtidos pelos três métodos, e os respectivos teores e conteúdos na matéria seca da parte aérea das plantas foram submetidos à análise de variância. A significância dos modelos de regressão foi testada utilizando-se o quadrado médio do resíduo da análise de variância.

O efeito da aplicação de doses de Cu sobre a produção de matéria seca da parte aérea, teores recuperados pelos três extratores, teores e conteúdos na matéria seca da parte aérea foi avaliado por meio de análise de regressão. Os teores disponíveis no solo pelos três métodos foram correlacionados entre si. As taxas de recuperação pelos extratores foram correlacionadas com as características dos solos. Para a obtenção das equações de regressão múltiplas que relacionam a taxa de recuperação pelos diferentes extratores com características do solo, foram eliminadas algumas variáveis que apresentavam coeficiente de correlação linear entre si igual ou superior a 0,7, de modo a evitar colinearidade entre as características dos solos.

Como suporte à execução das análises estatísticas foi utilizado os softwares Statistica 6.0 e SAEG 5.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de matéria seca da parte aérea

Não houve influência positiva das doses de Cu na produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA) das mudas de eucalipto (Quadros 2 e 3). Portanto, a disponibilidade natural desse nutriente nos solos estudados já era adequada ao pleno crescimento das mudas de eucalipto. Os menores teores estimados de Cu no solo pelo extrator Mehlich-1 foi de 0,12 mg dm⁻³ e pelo DTPA foi de 0,09 mg dm⁻³, para a

condição de não adição desse nutriente (Quadro 5). Estes teores são bem menores do que aqueles do limite superior da classe de disponibilidade média (nível crítico) usados em Minas Gerais e em São Paulo, ou seja, 1,2 mg dm⁻³ de Cu pelo Mehlich-1 (Alvarez V. et al., 1999) e 0,8 mg dm⁻³ pelo DTPA (Raij et al., 1997), respectivamente.

Quadro 2. Teores de Cu disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca, teor e conteúdo de Cu na matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado (valores médios de quatro repetições) em função das doses de Cu aplicadas

Solo	Dose Cu	Teor de Cu no Solo			Produção de MS (total)	Teor de Cu na MS (total)	Conteúdo de Cu na MS (total)
		M-1	M-3	DTPA			
		mg dm ⁻³			g/vaso	mg kg ⁻¹	µg/vaso
1	0	0,26	0,04	0,14	23,85	1,78	42,55
	2	1,60	1,36	1,29	19,84	6,10	120,98
	4	3,17	2,90	2,79	20,60	9,02	185,74
	8	6,40	5,71	5,33	22,79	8,96	204,18
	16	11,46	12,70	10,58	21,76	9,93	215,98
2	0	0,95	0,66	0,97	28,51	3,43	97,86
	2	1,62	1,32	1,79	29,09	4,20	122,24
	4	2,56	2,61	3,17	27,14	5,50	149,21
	8	4,63	4,48	4,79	27,67	5,40	149,41
	16	9,18	8,91	10,59	28,57	6,96	198,82
3	0	1,10	0,50	1,33	28,47	4,31	122,62
	2	2,30	1,51	1,47	27,95	5,69	159,04
	4	3,77	2,64	2,83	26,60	6,24	165,86
	8	6,55	4,72	4,28	26,83	6,78	181,84
	16	12,31	8,78	8,50	27,20	7,09	192,94
4	0	0,31	0,03	0,22	25,47	2,54	64,74
	2	1,46	1,16	1,46	27,17	6,16	167,25
	4	2,86	2,13	2,88	25,34	7,12	180,52
	8	5,55	4,68	5,65	24,81	8,21	203,63
	16	11,44	9,80	11,41	24,96	9,22	230,19
5	0	1,42	1,02	1,12	23,41	5,21	121,91
	2	2,67	1,98	2,07	23,43	5,69	133,39
	4	4,13	3,15	3,56	21,42	8,28	177,42
	8	6,94	6,22	6,15	22,75	8,14	185,12
	16	12,57	11,36	11,24	21,86	8,39	183,49
6	0	1,08	0,89	0,71	23,92	6,06	144,92
	2	2,58	2,29	1,95	22,28	7,84	174,61
	4	3,85	3,87	3,17	23,34	8,12	189,49
	8	6,95	6,50	5,51	23,33	8,71	203,32
	16	13,87	12,60	10,24	22,91	11,16	255,63

Teores de Cu no solo: Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3). Matéria seca da parte aérea (MS).

Dados obtidos por Soares et al. (2000), ao cultivarem eucalipto em solução nutritiva com concentrações crescentes de Cu, mostraram resposta negativa da produção de matéria seca para duas espécies cultivadas, possivelmente em razão de alguma contaminação dos reagentes utilizados ou da água com esse nutriente, ou que os teores já existentes nas mudas foram capazes de atenderem a demanda da planta.

Resultados de ausência de resposta de plantas de eucalipto à aplicação de micronutrientes, de modo geral, tem sido frequentemente observados em condições de umidade do solo elevada, próximo à capacidade de campo, em casa de vegetação (Novais et al., 1990). Isso tem ocorrido independente de origem do solo, textura, etc., mesmo para aqueles onde, no campo, os sintomas de suas deficiências são evidentes. As limitações por transporte naquelas condições devido ao déficit hídrico e a manutenção de condições para intenso transporte (irrigação frequente) em casa de vegetação são, provavelmente, razões para a diferença de resultados (Novais et al., 1990).

As raras respostas do eucalipto, especialmente na fase de mudas, à adubação com micronutrientes indicam que essa planta possui elevada capacidade de absorção e, ou, baixa demanda para seu crescimento, conforme mostram os resultados deste trabalho.

O Cu é provavelmente o micronutriente menos móvel no solo, sendo que a maior quantidade do Cu da planta é adquirida através da difusão e da interceptação radicular. Portanto, fatores de solo que afetam o crescimento radicular podem influenciar a disponibilidade de Cu para as plantas (Moraghan & Mascagni Jr., 1991).

Em estudos em condições de casa de vegetação, onde o teor de água do solo é mantido próximo à capacidade de campo e a temperatura mais elevada que no campo, as condições para o transporte de Cu no solo são mantidas em nível elevado, reduzindo a possibilidade de resposta a suas adições (Novais et al., 1990). Outro aspecto importante é o fato de que as raízes das plantas ao crescerem em um ambiente confinado, como de um recipiente, a quantidade de raízes por volume de solo aumenta, reduzindo a distância para a difusão e chegada dos nutrientes à superfície das raízes com o aumento da interceptação radicular. Por isso, mesmo que o teor do nutriente encontrado no solo seja considerado baixo ou, até mesmo não detectável, pode ser suficiente para a planta crescer e desenvolver satisfatoriamente, não apresentando ganho de produção de matéria seca com sua aplicação. Por outro lado, a faixa de toxidez pode ser atingida e a resposta ser negativa (Marschner, 1995).

Quadro 3. Equações de regressão para a produção de matéria seca (g/vaso) da parte aérea em função das doses de Cu (mg dm⁻³) adicionadas a amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r ²
1	$\hat{y} = \bar{y} = 21,77$	-
2	$\hat{y} = \bar{y} = 28,20$	-
3	$\hat{y} = \bar{y} = 27,41$	-
4	$\hat{y} = \bar{y} = 25,55$	-
5	$\hat{y} = \bar{y} = 22,57$	-
6	$\hat{y} = \bar{y} = 23,16$	-

Os resultados encontrados por Novelino et al. (1982), cultivando espécies de *Eucalyptus* em solução nutritiva com concentrações crescentes de B, mostram que, dependendo da espécie, a faixa de toxidez é atingida em concentrações menores e a produção de matéria seca decresce. Para Zn, a faixa de suficiência parece ser bem mais ampla do que a de B, conforme os resultados Couto et al. (1985). Estudo de Soares (1999), cultivando mudas de eucalipto em solução nutritiva com concentrações crescentes de Cu e Zn, mostra que a concentração de Zn para redução de 10 % na produção de matéria seca da parte aérea, é de 51 vezes maior que a de Cu para *E. maculata* e de oito vezes maior para *E. urophylla*, indicando que, para Cu a faixa de suficiência que antecede a toxidez é mais estreita. Vale ressaltar que para plantas cultivadas em solução nutritiva as quantidades absorvidas são normalmente mais elevadas que para aquelas em ambiente tamponado, como o solo.

De modo geral, uma das condições necessárias para se obter ganhos na produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), é um aumento correspondente na quantidade absorvida de um determinado nutriente, que será constituinte da matéria seca produzida adicionalmente. Neste trabalho, como não houve aumento da PMSPA em resposta a aplicação de Cu, o aumento dos teores e conteúdos de Cu na matéria seca da parte aérea (MSPA) ocorreu unicamente em resposta ao aumento na aquisição desse nutriente, como teoricamente era esperado. Portanto, ao invés de trabalhar com variável PMSPA, utilizaram-se teores e conteúdos de Cu na MSPA os quais podem ser um indicativo da resposta positiva da planta à aplicação de Cu.

3.2. Teores de Cu disponíveis no solo

Os teores de Cu pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram linearmente e positivamente influenciados pelas doses aplicadas aos solos, com valores de r² elevados

e coeficientes altamente significativos ($p \leq 0,001$) (Quadro 4). Contudo, a declividade das curvas variou com o solo indicando a influência de características dos solos utilizados na relação teor recuperado de Cu em função da dose aplicada - (Quadro 4). Isto evidencia diferença quanto à capacidade tampão de Cu dos solos e, também, quanto à composição química de cada extrator, com reflexos no modo de extração e na quantidade extraída. As diferenças nos valores dos interceptos das equações que relacionam os teores extraídos de acordo com as doses adicionadas (Quadro 4) foram devidas à disponibilidade inicial de Cu no solo (Quadro 2). Aumentos lineares e positivos nos teores no solo em função de doses, com valores de r^2 elevados, foram encontrados por Santos Neto (2003), ao trabalhar com solos de características contrastantes.

Considerando a análise conjunta dos solos com base nas declividades, as taxas de recuperação de Cu pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram de 69, 64 e 61 % do Cu adicionado, respectivamente (Quadro 4). Santos Neto (2003) encontrou taxas de recuperação de 67 %, 61 % e 53 % pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, respectivamente.

Considerando a ausência de resposta positiva das mudas às doses aplicadas, conclui-se que os teores de Cu disponível de $0,12 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo Mehlich-1 e $0,09 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu pelo DTPA (Quadro 4), e talvez até menores do que estes, são suficientes para a produção de matéria seca de mudas de eucalipto produzidas em vasos com solo de Cerrado. Para o Mehlich-3, os menores teores estimados para os solos 1 e 4 foram negativos devido aos baixos teores naturais encontrados nesses solos, que foram de $0,04$ e $0,03 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu, respectivamente (Quadro 2).

Os extratores ácidos apresentam maior poder de extração em virtude de sua dissolução ácida, o que causa a extração de frações que não são prontamente disponíveis para as plantas, como, por exemplo, dos óxidos (Cancela et al., 2001; Nascimento, 2001; Ferreira, 2003). Porém, essas frações não disponíveis no momento da análise do solo, poderão ser posteriormente, visto que muitas plantas, a exemplo do eucalipto, apresentam acidificação intensa de sua rizosfera, fenômeno que pode disponibilizar frações anteriormente inacessíveis às plantas (Novais & Smyth, 1999).

Quadro 4. Equações de regressão para os teores de Cu disponíveis (y , mg dm^{-3}) pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em função das doses de Cu (x , mg dm^{-3}) adicionadas a amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2
	Mehlich-1		Mehlich-1		DTPA	
1	$\hat{y} = 0,33 + 0,707^{***} x$	0,997	$\hat{y} = - 0,23 + 0,794^{***} x$	0,997	$\hat{y} = 0,09 + 0,656^{***} x$	0,999
2	$\hat{y} = 0,65 + 0,523^{***} x$	0,996	$\hat{y} = 0,45 + 0,523^{***} x$	0,997	$\hat{y} = 0,71 + 0,608^{***} x$	0,997
3	$\hat{y} = 0,98 + 0,705^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 0,53 + 0,517^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 0,85 + 0,468^{***} x$	0,990
4	$\hat{y} = 0,12 + 0,700^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,13 + 0,615^{***} x$	0,998	$\hat{y} = 0,11 + 0,703^{***} x$	0,999
5	$\hat{y} = 1,34 + 0,701^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 0,78 + 0,661^{***} x$	0,998	$\hat{y} = 0,98 + 0,641^{***} x$	0,999
6	$\hat{y} = 0,86 + 0,801^{***} x$	0,998	$\hat{y} = 0,85 + 0,730^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 0,75 + 0,594^{***} x$	0,999

*** = significativo a 0,1 % pelo teste F.

Em trabalhos, como este, que consistem da aplicação de doses de nutrientes ao solo e extração química poucos dias após a aplicação, a interação do nutriente com a matriz sólida do solo é pequena, e estreita relação é encontrada entre os teores medidos pelos extratores e as respostas da planta, fato também constatado por Couto (1985), ao trabalhar com doses de Zn. Entretanto, interações mais fortes poderão ocorrer com o passar do tempo e aquelas boas relações encontradas inicialmente pelos extratores poderão não mais ocorrer. Fato semelhante é o que ocorre com o P, onde ligações adicionais são formadas com o tempo reduzindo a disponibilidade para a planta (Novais & Smyth, 1999).

Os teores de Cu pelos três métodos de extração apresentaram alta correlação entre si (Quadro 5). Resultados concordantes, para os mesmos extratores, foram encontrados por Sequeira (2007), para os solos aqui utilizados, em condições de campo.

Quadro 5. Equações entre teores de Cu disponível extraído por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2
	Mehlich-1 com Mehlich-3		Mehlich-1 com DTPA		DTPA com Mehlich-3	
1	$\hat{y} = - 0,57 + 1,117^{***} x$	0,989	$\hat{y} = - 0,21 + 0,925^{***} x$	0,987	$\hat{y} = - 0,33 + 1,210^{***} x$	0,997
2	$\hat{y} = - 0,19 + 0,998^{***} x$	0,998	$\hat{y} = - 0,03 + 1,159^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,16 + 0,861^{***} x$	0,999
3	$\hat{y} = - 0,19 + 0,733^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 0,19 + 0,664^{***} x$	0,993	$\hat{y} = - 0,37 + 1,095^{***} x$	0,990
4	$\hat{y} = - 0,23 + 0,877^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,01 + 1,003^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,22 + 0,874^{***} x$	0,999
5	$\hat{y} = - 0,49 + 0,943^{***} x$	0,998	$\hat{y} = - 0,25 + 0,914^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,23 + 1,031^{***} x$	0,998
6	$\hat{y} = 0,07 + 0,910^{***} x$	0,998	$\hat{y} = 0,13 + 0,739^{***} x$	0,997	$\hat{y} = - 0,08 + 1,229^{***} x$	0,999

*** = significativo a 0,1 % pelo teste F. O \hat{y} corresponde ao teor de Cu pelo Mehlich-3, nas comparações com Mehlich-1 e DTPA; e pelo DTPA, na comparação com o Mehlich-1.

Os coeficientes de correlação para os teores de Cu obtidos pelos três extratores foram, para milho e soja, respectivamente: Mehlich-1 com Mehlich-3 (0,96 e 0,88), Mehlich-1 com DTPA (0,94 e 0,84) e DTPA com Mehlich-3 (0,98 e 0,94) para solos de diversas regiões do Estado de São Paulo (Cancela et al., 2001).

Correlações estreitas e altamente significativas para os teores de Cu também foram obtidas por Sequeira (2007), que, estudando 150 amostras de solos, encontrou coeficientes de correlação linear de 0,94 entre Mehlich-1 e Mehlich-3, de 0,82 entre Mehlich-1 e DTPA e de 0,75 entre Mehlich-3 e DTPA.

Ferreira (2003) trabalhando com DTPA, Mehlich-1 e Mehlich-3, em 15 amostras de solos de Minas Gerais, observou maior correlação entre DTPA e Mehlich-1 ($r = 0,98$) que entre DTPA e o Mehlich-3 ($r = 0,74$) 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.

3.3. Relação entre Cu na parte aérea das mudas e doses aplicadas

De modo geral, as relações entre os teores e conteúdos de Cu na matéria seca da parte aérea (MSPA) em função das doses de Cu aplicadas foram curvilineares, exceto para os conteúdos nos solos 2 e 6 em que foram lineares, e com a maioria dos coeficientes de regressão altamente significativos ($p \leq 0,001$) (Quadro 6). Os modelos com a forma curvilinear, como o modelo base raiz quadrada, o qual apresentou melhor ajuste aos dados obtidos, indicam a forte influência da capacidade tampão de Cu do solo restringindo a aquisição de Cu pela planta.

Os teores estimados pelas equações na maior dose de Cu testada (16 mg dm^{-3}) foram de 9,83; 6,70; 7,13; 9,15; 8,25 e 11,18 mg kg^{-1} para os solos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente (Quadro 6). O solo 2 possui maior teor de matéria orgânica (MO), e foi justamente nele se atingiu o menor teor de Cu na MSPA, indicando ser a MO uma característica que tampona esse nutriente no solo, restringindo sua absorção pela planta.

Para diversas culturas como arroz, cevada, milho, soja e trigo, os valores das correlações lineares entre teores foliares e teores disponíveis no solo têm sido bastante variáveis. Em geral, o extrator adequado para uma cultura não é, necessariamente, o melhor para outras, conforme relatado por vários autores (Cancela et al., 2001; Silva et al., 2003; Gonçalves Jr. et al., 2006; Obrador et al., 2007). Isso indica a necessidade de estudos para cada solo e cultura específica na seleção do extrator mais eficiente.

Quadro 6. Equações de regressão para os teores (y , mg kg⁻¹) e conteúdos (y , µg/vaso) de Cu na matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto em função das doses (x , mg dm⁻³) de Cu adicionadas a amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r ²	Equação	r ²
	Teor		Conteúdo	
1	$\hat{y} = 1,71 + 4,37^{**} \sqrt{x} - 0,585^* x$	0,956	$\hat{y} = 38,4 + 87,04^* \sqrt{x} - 10,475^o x$	0,969
2	$\hat{y} = 3,48 + 0,201^{**} x$	0,875	$\hat{y} = 109,3 + 5,702^* x$	0,919
3	$\hat{y} = 4,29 + 1,23^+ \sqrt{x} - 0,130^{ns} x$	0,998	$\hat{y} = 122,9 + 27,87^{ns} \sqrt{x} - 2,587^{ns} x$	0,996
4	$\hat{y} = 2,57 + 2,90^* \sqrt{x} - 0,314^+ x$	0,999	$\hat{y} = 67,5 + 76,44^* \sqrt{x} - 9,133^+ x$	0,989
5	$\hat{y} = 5,18 + 0,656^* x - 0,029^o x^2$	0,845	$\hat{y} = 119,5 + 13,66^o x - 0,606^+ x^2$	0,912
6	$\hat{y} = 6,72 + 0,279^{**} x$	0,927	$\hat{y} = 155,5 + 6,350^{**} x$	0,964

^{ns}, ⁺, ^o, ^{*}, ^{**} = não significativo e significativo a 15, 10, 5, e 1 % pelo teste F, respectivamente.

Com base nas equações apresentadas no quadro 6, pode-se concluir que as doses de Cu aplicadas ao solo causaram aumento dos teores e conteúdos de Cu na MSPA, de modo geral, de forma curvilinear.

Portanto, diante dos dados obtidos neste trabalho e dada a similaridade dos valores de r² dos modelos ajustados (dose x extrator, dose x planta, extrator x extrator), a avaliação da disponibilidade de Cu para o eucalipto poderá ser feita com qualquer um dos três extratores testados. Contudo, como o Mehlich-1 é o extrator utilizado nos laboratórios de análise de rotina em Minas Gerais e em vários estados do país (Lopes & Alvarez V., 1999), ele seria mais recomendado, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país. Entretanto, como citado anteriormente, a extração química poucos dias após a aplicação do nutriente pode não revelar o efeito da forte interação do nutriente com a matriz sólida do solo, e boas relações serem encontradas com os três extratores. Por outro lado, se as extrações forem feitas após um tempo maior de contato do nutriente com o solo, permitindo o estabelecimento de ligações adicionais, poderá haver redução da disponibilidade para a planta, e, possivelmente, os extratores apresentarão eficiência diferenciada. Fato semelhante é o que ocorre com o P (Novais & Smyth, 1999).

Diante disso, a abordagem seguinte será no sentido de verificar as relações existentes na dose zero, onde se assume que antes da coleta do solo no campo não foi feita adubação com os nutrientes em questão, ou que, se isso ocorreu já teria havido tempo suficiente para estabelecer o equilíbrio com a fase sólida do solo, comentadas anteriormente.

3.4. Relação entre teor natural de Cu no solo e Cu na planta

De acordo com Bray (1948), o extrator ideal é aquele que extrai as formas disponíveis para as plantas, em solos com diferentes características, que apresentam adequação aos laboratórios de rotina. Além disso, deve se correlacionar estreitamente com as respostas das culturas à presença dos *teores naturais* dos nutrientes no solo. Na tentativa de atender a esses preceitos, foram estabelecidas relações comparando o comportamento dos três extratores, nas condições de não aplicação (dose zero) e aplicação dos nutrientes (demais doses testadas), conforme mostram os quadros 7, 8, 9 e 10.

Os teores de Cu pelo Mehlich-3 apresentaram melhor ajuste no modelo que relaciona a produção de matéria seca da parte aérea e o teor na planta em função dos teores naturais disponíveis (dose zero) (Quadro 7).

Quadro 7. Equações de regressão entre a PMSPA, teores e conteúdos de Cu na MSPA de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função dos teores naturais existentes no solo (dose zero) extraídos pelo M-1, M-3 e DTPA

Extrator	Equação	r ²
	PMSPA (g/vaso)	
M-1	$\hat{y} = -0,17 + 68,59^{\circ} \sqrt{x} - 41,02^{\circ} x$	0,510
M-3	$\hat{y} = 19,18 + 38,18^* \sqrt{x} - 34,17^* x$	0,847
DTPA	$\hat{y} = 23,95 + 2,336^{ns} x$	0,193
	Teor na planta (mg kg ⁻¹)	
M-1	$\hat{y} = 1,33 + 2,965^* x$	0,744
M-3	$\hat{y} = 2,02 + 3,506^{**} x$	0,838
DTPA	$\hat{y} = -6,22 + 27,11^{\circ} \sqrt{x} - 3,025^+ x$	0,725
	Conteúdo na planta (µg/vaso)	
M-1	$\hat{y} = 35,92 + 73,087^{**} x$	0,806
M-3	$\hat{y} = 55,24 + 81,969^{**} x$	0,817
DTPA	$\hat{y} = -132,7 + 593,7^{\circ} \sqrt{x} - 338,63^{\circ} x$	0,855

ns, +, °, * e ** = não significativo e significativo a 15, 10, 5 e 1 % pelo teste F, respectivamente.
 PMSPA= produção de matéria seca da parte aérea; MSPA= matéria seca da parte aérea;
 M-1= Mehlich-1; M-3= Mehlich-3.

Mesmo sabendo que o teor no solo por um determinado extrator para atingir a máxima produção de matéria seca, ou 90 % desta, é variável com a capacidade tampão do nutriente no solo (Novais & Smyth, 1999), ter um nível crítico independente das características que conferem a capacidade tampão do solo a um nutriente certamente

não é o procedimento mais adequado. Mesmo assim, para este restrito grupo de seis solos, com as equações do Quadro 7 é possível calcular um único nível crítico independente do solo, através da primeira derivada encontrar o ponto de máximo (Y máx) e substituindo na equação achar o valor de X correspondente ao Y max e o valor é de 0,84 e 0,56 mg dm⁻³ de Cu, respectivamente pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3. Esses resultados contrastantes com aqueles sugeridos no item 3.1, mostram a importância e a influência que a metodologia pode ter nos resultados do estudo.

Os coeficientes de correlação entre os teores de Cu disponíveis no solo com os teores e conteúdos nas plantas foram mais elevados para todos os extratores na dose zero que nas demais doses (Quadro 8). Os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 apresentaram valores das correlações próximas entre si, porém mais elevadas que o DTPA.

Quadro 8. Coeficiente de correlação linear (r) entre teores e conteúdos de Cu na matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado e os teores de Cu disponíveis, na dose zero e nas demais doses, extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA

Teores disponíveis no solo com Teor na planta			
DOSE	M-1	M-3	DTPA
Zero	0,83 ^{***}	0,84 ^{***}	0,61 ^{***}
Demais *	0,66 ^{***}	0,69 ^{***}	0,60 ^{***}
Teores disponíveis no solo com Conteúdo na planta			
Zero	0,86 ^{***}	0,83 ^{***}	0,68 ^{**}
Demais *	0,77 ^{***}	0,77 ^{***}	0,73 ^{***}

*** = significativo a 0,1 % pelo teste F, respectivamente. Demais = doses 2, 4, 8 e 16 mg dm⁻³ de Cu.

3.5. Características do solo e recuperação de Cu pelos extratores

Os coeficientes de correlação entre as taxas de recuperação de Cu pelos extratores e os teores de argila e matéria orgânica foram altamente significativos para o Mehlich-1 (M-1) e Mehlich-3 (M-3) e não significativos para o DTPA (Quadro 9), indicando que os extratores M-1 e M-3 extraem mais Cu de solos com menores teores de argila e matéria orgânica, pois menos sítios de adsorção são encontrados nesses solos. Isso se deve provavelmente ao menor desgaste dos extratores ácidos nos solos arenosos, efeito relatado com frequência na extração de P por extratores ácidos (Novais & Smyth, 1999).

A matéria orgânica do solo tem alta afinidade pelo Cu e forma complexos orgânico-metálicos bastante estáveis que dificultam a extração desse nutriente (Shuman, 1991). O extrator DTPA atua por complexação; com isso sua capacidade de extração independe do teor de matéria orgânica e argila do solo, complexantes mais fracos que o DTPA. Embora com valores mais baixos, as correlações com H+Al seguiram a mesma tendência daquelas com o teor de matéria orgânica, pois são características do solo correlacionadas entre si. As correlações com P-rem foram significativas e positivas para M-1 e M-3, e com valores mais altos do que aqueles encontrados com o teor de argila. O P-rem é uma característica que tem sido usada como medida do fator capacidade de fósforo e de enxofre (Alvarez V. et al., 2000). Os valores de correlações observados neste trabalho indicam que o P-rem reflete a capacidade de adsorção de Cu pelo solo. O P-rem é, pois, uma característica que melhor se correlaciona com as taxas de recuperação por esses extratores do que o teor de argila. Além disso, é uma análise mais simples e de menor custo do que a de argila. O P-rem e o teor de argila são características do solo também correlacionadas entre si, e, de modo geral, para os solos de regiões tropicais altamente intemperizados, o P-rem diminui com o aumento do teor de argila. Com o DTPA, apenas o pH apresentou correlação significativa e negativa, indicando que a extração diminui com o aumento do pH do solo (Quadro 9).

Quadro 9. Coeficientes de correlação linear (r) entre características do solo, teor e conteúdo de Cu na MSPA¹, e as declividades das equações do quadro 4 - Cu recuperado pelos extratores Mehlich-1(M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função do adicionado às amostras de seis solos de Cerrado

Características do solo	EXTRATORES			PLANTA	
	M-1	M-3	DTPA	Teor	Conteúdo
pH	-0,61 ^{***}	-0,70 ^{***}	-0,71 ^{***}	-0,31 [*]	-0,12 ^{ns}
H+Al	-0,44 [*]	-0,57 [*]	0,30 [*]	-0,29 ^o	-0,12 ^{ns}
Matéria Orgânica	-0,86 ^{***}	-0,85 ^{***}	0,00 ^{ns}	-0,42 [*]	-0,19 ^{ns}
P-rem	0,59 ^{***}	0,98 ^{***}	0,45 ^{**}	0,38 [*]	0,13 ^{ns}
Argila	-0,42 ^{**}	-0,88 ^{***}	-0,50 ^{**}	-0,27 ^o	-0,07 ^{ns}

^{ns}, ^{*}, ^{**} e ^{***} = não significativo e significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F, respectivamente. ¹MSPA = matéria seca da parte aérea.

As correlações entre o melhor indicador de disponibilidade, a planta, com seus teores e conteúdos relacionados com as características do solo, apresentaram sinais concordantes com aquelas do Mehlich-1 e Mehlich-3 (Quadro 9), indicando que a

planta é sensível à capacidade tampão de Cu, e esses extratores também o foram. O DTPA apresentou correlação significativa apenas com o pH, indicando ser o extrator mais sensível a diferentes condições de pH, diminuindo a extração de Cu à medida em que se elevam os valores de pH, o que corrobora os dados obtidos por Nascimento (2001) e Santos Neto (2003).

Equações de regressão múltipla foram ajustadas entre as taxas de Cu recuperado em função da sua dose adicionada aos solos e algumas características dos solos que influenciam na capacidade tampão de Cu (Quadro 10).

Os modelos de regressão ajustados para as taxas de Cu recuperado em função do adicionado aos solos (Quadro 10) mostram que matéria orgânica (MO) prediz 89,5 % dos teores de Cu recuperados pelo Mehlich-1. Para Mehlich-3 o fósforo remanescente (P-rem) justifica 96,1 % da variação do Cu recuperado. As taxas de recuperação do Cu extraído pelo DTPA foram explicadas em 97,7 % pelo pH.

Quadro 10. Equações de regressão para as taxas de recuperação ($\text{mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$) de Cu pelo Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função de algumas características de seis solos de Cerrado

Equação de Regressão	r ²
Mehlich-1	
TR= 0,99 – 0,0906*** MO	0,895
TR= 0,50 + 0,0083* P-rem	0,594
TR= 0,91 – 0,0046° ARG	0,470
Mehlich-3	
TR= 0,36 + 0,0114*** P-rem	0,961
TR= 0,92 – 0,0063** ARG	0,775
TR= 0,92 – 0,0869* MO	0,715
DTPA	
TR= 8,09 – 2,797** pH + 0,260** pH ²	0,977
TR= 0,96 + 0,01795* (H+Al) – 0,0849* pH	0,778
TR= 1,09 – 0,0907* pH	0,618

*, ** e *** = significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F, respectivamente. TR - taxa de recuperação; MO - matéria orgânica (dag kg^{-1}); P-rem - fósforo remanescente (mg L^{-1}) e ARG - argila (%).

Com base nos modelos ajustados, as variáveis de solo que melhor explicaram as taxas de recuperação do Cu pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 foram matéria orgânica, P-rem e teor de argila. Pelo DTPA, o pH foi a melhor variável explicativa das taxas de recuperação por este extrator. As taxas de recuperação de Cu para os mesmos

três extratores deste trabalho foram melhor explicadas pelas variáveis argila e matéria orgânica (Santos Neto, 2003).

3.6. Cobre no solo e em diferentes partes da planta

Apesar de significativas para a maioria dos solos, as correlações entre os teores de Cu no solo pelos três extratores com os respectivos teores e conteúdos da parte apical (Quadro 11) apresentaram valores bem mais baixos do que aqueles para a parte basal e planta toda. A porção basal e planta toda apresentaram correlações estreitas entre si ($r > 0,96$) para todos os solos, indicando que se podem utilizar amostras tanto a porção basal ou a planta toda. Além disso, as correlações dos teores de Cu no solo com os respectivos conteúdos na planta toda foram sensivelmente maiores do que as correlações dos teores no solo com os teores na planta toda, para a maioria dos solos estudados (Quadro 11).

Em resumo, pode-se concluir que os teores de Cu no solo apresentam estreitas correlações com os teores e conteúdos presentes na matéria seca das porções basais ou de toda a parte aérea de mudas de eucalipto. Sequeira (2007), ao correlacionar os teores de Cu no solo, pelos diferentes extratores, e os teores nas folhas das diferentes posições da planta, obteve os melhores resultados com os teores foliares na posição proximal do terço basal, com os melhores valores de r^2 para o Mehlich-1, seguido pelo Mehlich-3 e DTPA.

Quadro 11. Coeficientes de correlação linear (r) entre teores de Cu obtidos com os extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA e os teores e conteúdos encontrados nas posições basal e apical da parte aérea das plantas de eucalipto

SOLO		M-1	M-3	DTPA	Tbas	Tapi	Ttoda	Cbas	Capi
1	M-3	0,96							
	DTPA	0,96	1,00						
	Tbas	0,66	0,68	0,68					
	Tapi	0,66	0,64	0,65	0,92				
	Ttoda	0,67	0,67	0,68	0,99	0,95			
	Cbas	0,67	0,66	0,67	0,95	0,85	0,94		
	Capi	0,72	0,71	0,73	0,77	0,86	0,81	0,74	
	Ctoda	0,72	0,71	0,72	0,95	0,90	0,96	0,99	0,84
2	M-3	0,99							
	DTPA	0,98	0,99						
	Tbas	0,80	0,78	0,77					
	Tapi	0,66	0,65	0,63	0,76				
	Ttoda	0,82	0,80	0,79	0,99	0,84			
	Cbas	0,76	0,74	0,73	0,97	0,80	0,97		
	Capi	0,59	0,61	0,59	0,34	0,67	0,45	0,30	
	Ctoda	0,83	0,82	0,80	0,95	0,88	0,98	0,97	0,53
3	M-3	0,99							
	DTPA	0,86	0,90						
	Tbas	0,74	0,75	0,65					
	Tapi	0,19	0,18	0,15	0,37				
	Ttoda	0,69	0,69	0,60	0,96	0,62			
	Cbas	0,71	0,70	0,55	0,91	0,25	0,85		
	Capi	0,19	0,18	0,19	0,11	0,78	0,34	-0,03	
	Ctoda	0,73	0,71	0,58	0,87	0,59	0,93	0,88	0,45
4	M-3	0,99							
	DTPA	0,99	0,99						
	Tbas	0,77	0,78	0,78					
	Tapi	0,68	0,67	0,70	0,86				
	Ttoda	0,77	0,77	0,77	1,00	0,90			
	Cbas	0,70	0,71	0,68	0,97	0,81	0,97		
	Capi	0,55	0,59	0,62	0,67	0,84	0,70	0,57	
	Ctoda	0,72	0,73	0,72	0,98	0,87	0,98	0,99	0,70
5	M-3	0,94							
	DTPA	0,96	0,99						
	Tbas	0,62	0,61	0,62					
	Tapi	0,62	0,61	0,64	0,79				
	Ttoda	0,64	0,63	0,64	0,99	0,86			
	Cbas	0,64	0,64	0,66	0,96	0,83	0,97		
	Capi	0,25	0,26	0,24	0,49	0,52	0,48	0,32	
	Ctoda	0,64	0,64	0,65	0,97	0,86	0,99	0,98	0,48
6	M-3	0,99							
	DTPA	1,00	0,99						
	Tbas	0,85	0,86	0,85					
	Tapi	0,45	0,44	0,44	0,62				
	Ttoda	0,81	0,82	0,82	0,99	0,73			
	Cbas	0,79	0,82	0,81	0,94	0,60	0,94		
	Capi	0,61	0,67	0,61	0,53	0,26	0,48	0,42	
	Ctoda	0,83	0,86	0,84	0,95	0,60	0,94	0,99	0,55

M-1, M-3 e DTPA = teor de Cu extraído do solo por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, respectivamente; **Tbas, Tapi e Ttoda** = teor de Cu na parte aérea basal, apical e da planta toda, respectivamente. **Cbas, Capi e Ctoda** = conteúdo de Cu na parte aérea basal, apical e na planta toda, respectivamente. Apenas os valores em vermelho não são significativos a 5 % pelo teste F.

4. CONCLUSÕES

Os níveis críticos de Cu em solos de Cerrado, para o crescimento de mudas de eucalipto, são iguais ou inferiores a 0,12 e 0,09 mg dm⁻³, pelos extratores Mehlich-1 e DTPA, respectivamente.

Os teores de Cu e no solo e na planta, bem como o respectivo conteúdo, aumentam com a elevação das doses adicionadas desse nutriente.

Os teores e conteúdos de Cu na planta mostram estreita relação com os teores extraídos pelos três extratores.

Os teores de Cu extraídos pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram altamente correlacionados entre si.

O teor de matéria orgânica e o P-remanescente são características dos solos que mais influenciam negativamente nas taxas de recuperação de Cu pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, enquanto que para o DTPA, as taxas de recuperação são mais influenciadas pelo pH.

O Mehlich-1 é o extrator mais recomendado para avaliar a disponibilidade de Cu para mudas de eucalipto, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2007. Brasília, DF: 2008. 90p.
- ALVAREZ V., V.H.. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, 1974, 125p. (Tese de Mestrado)
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.25-32.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 2000, 25:27-32.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.
- BARROS, N.F. & COMMERFORD, N.B. Sustentabilidade da Produção de Florestas Plantadas na Região Tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em Ciência do Solo - II. Viçosa, 2002, p.487-592.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. Visão Agrícola, 2005, 4:76-79.
- BRAY, R.H. Requirements for successful soils tests. Soil Sci., 1948, 66:83-89.
- BOUCHARDET, J.A. Crescimento características físicas e anatômicas da madeira juvenil de dois clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em resposta à aplicação de boro. Piracicaba, ESALQ, 2002, 69p. (Dissertação de Mestrado)
- CANCELA, R.C.; FREIRE, A.R.; ABREU, C.A. & GONZÁLEZ, A.P. Eficacia de cuatro extractantes an la evaluación de la disponibilidad de cobre para maíz y soja. Bragantia, 2001, 60:205-212.
- COUTO, C. ; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Resposta do eucalipto à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. R. Árvore, 1985, 9 (2):134-148.
- DELL, B.; MALAJCZUK, D.; XU, D. & GROVE, T.S. Nutrient disorders in plantation eucalypts. 2.ed. Canberra, ACIAR, 2001, 188p.
- FERREIRA, G.B. Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, 2003, 169p. (Tese de Doutorado)

- GONÇALVES Jr., A.C.; PRESTES, A.L.; RIBEIRO, O.L. & SANTOS, A.L. Métodos extratores e fitodisponibilidade de zinco para milho em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. *Scient. Agra.*, 2006, 7:35-40.
- HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption 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.59-53.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developemnt of a DTPA soil of zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Soc. Am. Jou.*, 1978, 42:421-428.
- LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Apresentação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ, V.H., eds. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5.ed. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.21-24.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1995, 889p.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. Raleigh, North Carolina Soil Test Div., 1953. (não publicado)
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Science Plant Anal.*, 1984, 15:1409-1416.
- MORAGHAN, J.T. & MASGAGNI Jr., H.J.. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Madison, SSSA, 1991, p.371-425.
- 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)
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, L.C.L. & MELICIO, A.C.F.D. Fracionamento, dessorção e extração química de Zn em Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 2002, 26:599-606.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, UFV, 1990, p.25-98.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV, 1999, 399p.
- NOVELINO, J.O. ; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & MUNIZ, A.S. Efeito de níveis de boro em solução nutritiva no crescimento de *Eucalyptus* spp. *R. Árvore*, 1982, 6 (1):45-51

- OBRADOR, A.; ALVAREZ, J.M.; LOPEZ-VALDIVIA, L.M.; GONZALEZ, D.; NIVILLO, M.I. & RICO, M.I. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acid soils and their uptake by a barley crop. *Geoderma*, 2007, 137:432-443.
- PINHEIRO, A.L. Reflexos da fertilização mineral de boro na estrutura anatômica, no crescimento e na seca-de-ponteiro de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no Cerrado de Minas Gerais. Curitiba, UFPR, 1999, 191p. (Tese de Doutorado)
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, Â.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. IAC. Campinas, SP, 1996, 285p.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 2005, 29:297-300.
- SANTOS NETO, J.A. Taxas de recuperação de zinco, cobre e boro por diferentes extratores em solos da Bahia e Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003, 51p. (Dissertação de Mestrado)
- SEQUEIRA, C.H. Disponibilidade de micronutrientes em solos e sua correlação com teores foliares em povoamentos jovens de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 36p. (Dissertação de Mestrado)
- SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; MATA, J.D.V. & CEGANA, A.C.V. Extratores para a quantificação do zinco e do cobre em solos cultivados com soja. *Acta Scient.*, 2003, 26:361-366.
- SOARES, C.R.F.S. Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999, 136p. (Dissertação de Mestrado)
- SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G.; MOREIRA, F.M.S. & GRAZZIOTTI, P.H. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, 2000, 12(3):213-255.
- 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.145-181.

CAPÍTULO 2

DISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA MUDAS DE EUCALIPTO EM SOLOS DE CERRADO

RESUMO

No Brasil, com a intensificação da silvicultura clonal, o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente tem aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes, principalmente de B, e, mais recentemente, de Cu e Zn, especialmente em áreas de Cerrado. Este trabalho teve por objetivo avaliar três métodos de determinação da disponibilidade de Zn (Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) para mudas de eucalipto cultivadas em casa de vegetação, em amostras de seis solos do Estado de Minas Gerais (um de João Pinheiro, dois de Vazante, um de Três Marias e dois de Curvelo) e a influência de propriedades do solo na eficiência desses extratores. Os tratamentos foram arranjos no esquema fatorial 6 x 5, correspondendo a seis solos e cinco doses de Zn, com quatro repetições, em blocos ao acaso. As doses de Zn foram 0, 2,5, 5, 10 e 20 mg dm⁻³, na forma de cloreto de Zn. Após 70 dias de crescimento, as plantas foram cortadas em duas porções distintas, sendo uma apical (terço apical de todos os ramos da planta) e a outra basal (restante da planta cortada rente ao solo). Os níveis críticos de Zn em solos de Cerrado, para o crescimento de mudas de eucalipto, são iguais ou inferiores a 0,23 e 0,05 mg dm⁻³, pelos extratores Mehlich-1 e DTPA, respectivamente. Os teores de Zn no solo e na planta, bem como o respectivo conteúdo, aumentam com a elevação das doses adicionadas desse nutriente. Os teores e conteúdos de Zn na planta mostram estreita relação com os teores extraídos pelos três extratores. Os teores de Zn extraídos pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA são altamente correlacionados entre si. O teor de matéria orgânica e o P-remanescente são características dos solos que mais influenciam negativamente nas taxas de recuperação de Zn pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, enquanto que para o DTPA, as taxas de recuperação são mais influenciadas pelo pH. O Mehlich-1 é o extrator mais recomendado para avaliar a disponibilidade de Zn para mudas de eucalipto, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país.

ZINC AVAILABILITY FOR EUCALYPT SEEDLINGS IN CERRADO SOILS

ABSTRACT

In Brazil, with the intensification of the clonal sivilculture, the management of genetic materials that are more productive and more nutritional demanding has increased the appearance of symptoms of micronutrients deficiency, mainly of B, and, more recently, of Cu and Zn, especially in areas of Cerrado. The aim of this study was to evaluate three methods of determining Zn availability (Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA pH 7.3) to eucalypts seedlings cultivated under greenhouse conditions, in samples of six soils from Minas Gerais state (one sample from João Pinheiro, two from Vazante, one from Três Marias and two from Curvelo) and the influence of the properties of the soil in the efficiency of these extractors. The treatments were arranged in a randomized block design, with four replications, in a factorial scheme of 6 x 5, corresponding to six soils and five doses of Zn. The doses of Zn were 0, 2.5, 5, 10 and 20 mg dm⁻³, in the form of Zn chloride. After 70 days of growth, the plants were cut into two distinct portions, one being apical (apical third of all the branches of the plant) and the other being basal (the rest of the plant cut down near the ground level). The critical levels of Zn in soils from Cerrado, to the growth of eucalypts seedlings, by the extractors Mehlich-1 and DTPA, are equal or inferior to 0.23 and 0.05 mg dm⁻³, respectively. The concentration of Zn in the soil and in the plant, as well as the respective content, increase with the elevation of the additional doses of this nutrient. The concentration and the content of Zn in the plant show close relation to the content extracted by the three extractors. The concentration of Zn extracted by Mehlich-1, Mehlich-3 and by DTPA were strongly correlated. The content of organic matter and the P-remanescent are the characteristics of the soils which most negatively influence in the recovering rates of Zn by the extractors Mehlich-1 and Mehlich-3, while for the DTPA, the recovering rates are more negatively influenced by the pH. The Mehlich-1 is the most recommended extractor to evaluate Zn availability to eucalypts seedlings. First, because the method is easy to handle when compared to other methods, and, second, because it is a method which has already been used by the great majority of the laboratories in the country.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o eucalipto ocupa uma área plantada de 3,75 milhões de hectares e o Estado de Minas Gerais possui em torno de 28 % dessa área plantada (ABRAF, 2008).

Os plantios florestais com eucalipto no Brasil, de modo geral, ocupam áreas já degradadas pelo uso agrícola ou pecuário, em solos com elevado grau de degradação física, química e biológica, e com baixa fertilidade natural, em sua maioria (Barros & Comerford, 2002).

Na região tropical, radiação e temperatura não são limitantes e os fatores que determinam a produtividade florestal são, principalmente, água e nutrientes (Barros & Comerford, 2002). Mesmo sendo considerada uma essência florestal eficiente quanto ao uso dos nutrientes, em solos de baixa fertilidade, elevados ganhos de produtividade do eucalipto têm sido obtidos pela aplicação de adubos (Barros & Novais, 1996; Barros et al., 2005).

No Brasil, com a intensificação da silvicultura clonal e o plantio de materiais genéticos mais produtivos e exigentes nutricionalmente tem aumentado o aparecimento de sintomas de deficiência de micronutrientes, principalmente de B, e, mais recentemente, de Cu e Zn, especialmente em áreas de Cerrado. Até então, os programas de adubação de eucalipto voltaram-se ao suprimento de macronutrientes, com poucas empresas utilizando micronutrientes, à exceção do B (Pinheiro, 1999; Bouchardet, 2002).

A deficiência de Zn ocorre com maior frequência no período seco, resultando em plantas de tamanho reduzido, com entrenós mais curtos e folhas novas pequenas e lanceoladas (Marschner, 1995; Dell et al., 2001). Observações de campo indicam que a ocorrência e a intensidade dos sintomas variam com o tipo de solo, época do ano, material genético, dentre outros fatores e que, de modo geral, esses sintomas desaparecem com o avanço da idade das plantas.

Embora amplamente utilizada para diagnosticar a disponibilidade de macronutrientes com métodos bem definidos, a análise química do solo para micronutrientes tem ainda uso limitado e padrões indefinidos na área florestal. Para culturas agrícolas, diversos métodos de extração têm sido utilizados para quantificar os teores de micronutrientes catiônicos no solo, destacando-se o Mehlich-1 e o DTPA.

Este trabalho teve por objetivo avaliar três métodos de determinação da disponibilidade de Zn (Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA pH 7,3) para mudas de eucalipto

cultivadas em casa de vegetação, em amostras de seis solos de Cerrado e a influência de propriedades do solo na eficiência desses extratores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Com base nos dados obtidos por Sequeira (2007), foram coletadas amostras de solos de áreas de plantios comerciais de eucalipto na região do cerrado do Estado de Minas Gerais (Quadro 1).

Quadro 1. Caracterização química e física dos seis solos utilizados no estudo

Solo*	pH ⁽¹⁾	Ca ²⁺⁽²⁾	Mg ²⁺⁽²⁾	Al ³⁺⁽²⁾	H+Al ⁽³⁾	P ⁽⁴⁾	K ⁽⁴⁾	MO ⁽⁵⁾	P-rem ⁽⁶⁾	Argila ⁽⁷⁾
	(H ₂ O)	cmolc dm ⁻³				mg dm ⁻³		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	%
1	4,82	0,20	0,08	0,75	5,00	64,8	14	2,05	37,3	20,1
2	5,71	2,26	2,12	0,00	6,25	2,3	238	4,80	16,7	55,3
3	5,49	0,91	1,05	0,24	5,98	0,6	92	3,30	13,9	60,7
4	4,66	0,20	0,08	0,94	7,95	0,9	17	3,87	22,3	42,6
5	4,92	0,31	0,31	0,68	5,60	0,5	46	2,91	24,2	56,1
6	5,06	0,63	0,14	0,80	4,05	1,0	51	2,02	35,3	35,0

* Origem dos solos: João Pinheiro (1), Vazante (2 e 3), Três Marias (4) e Curvelo (5 e 6); ⁽¹⁾ pH em água - relação 1:2,5;
⁽²⁾ Ca, Mg e Al - extrator KCl 1 mol L⁻¹; ⁽³⁾ H+AL - extrator CaOAc 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; ⁽⁴⁾ P e K - extrator Mehlich-1;
⁽⁵⁾ MO - C. org. x 1,724 -Walkley Black; ⁽⁶⁾ P-rem - fósforo remanescente - Alvarez V. (2000); ⁽⁷⁾ Argila - Ruiz (2005).

Antes da aplicação dos tratamentos, as amostras dos solos foram secadas e passadas em peneira com malha de 4,0 mm de diâmetro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de julho a outubro de 2008. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 1,8 dm³ de solo com duas mudas clonais de eucalipto (*E. grandis* x *E. urophylla*).

Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 6 x 5, correspondendo a seis solos e cinco doses de Zn, com quatro repetições, em blocos ao acaso. As doses de Zn foram 0, 2,5, 5, 10 e 20 mg dm⁻³, na forma de cloreto de Zn.

Além da dose de Zn, cinco dias antes do transplante, foi aplicada uma adubação básica (Alvarez V., 1974) em todas as unidades experimentais. Para facilitar a homogeneização com todo o volume de solo, os adubos foram dissolvidos em água. A adubação antes do transplante constituiu-se, em mg dm⁻³, de 100 de N (fosfato de amônio), 300 de P (fosfatos de amônio, de K e de Ca), 165 de K (fosfato de K), 70 de S (sulfato de K), 0,15 de Mo (molibdato de amônio), 2,0 de B (ácido bórico), 4,0 de Cu (cloreto de Cu) e 4,0 de Mn (sulfato de Mn); em cobertura, aos 20 e 35 dias após o

transplante, foram aplicados 25 de N (uréia) e 0,88 de Fe (sulfato ferroso). Para os solos com teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} menores do que 1,0 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, foram aplicados cloretos de Ca e de Mg para atingir esses teores, de modo a não aumentar o pH do solo.

Imediatamente após a adubação básica de plantio e aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras de 300 cm^3 e mantidas incubadas por 15 dias. Após esse período, as amostras de solo foram secadas ao ar e passadas em peneira de malha de 2,0 mm de diâmetro (TFSA) para análise dos teores de Zn pelos extratores Mehlich-1 (Mehlich, 1953), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) e DTPA (Lindsay & Norvell, 1978), que foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica.

A relação solo:extrator para o Mehlich-1 e Mehlich-3 foi de 1:10, sendo usados 5 cm^3 de solo e 50 mL de extrator, agitados a 200 rpm por 5 min em agitador horizontal e os extratos pipetados após 16 h de repouso. Para o DTPA a relação foi de 1:2, ou seja, 10 cm^3 de solo e 20 mL de extrator, agitados por 2 h no mesmo agitador e rotação, sendo logo em seguida filtrado em papel de filtragem lenta.

No momento do transplante, as mudas, provenientes do enraizamento de miniestacas, tinham altura média em torno de 15 cm. As raízes das mudas foram lavadas cuidadosamente com água para remover porções do substrato, eventualmente aderidas ao sistema radicular. Foi feita uma seleção das mudas por altura separando-as em cada bloco. Os tratamentos foram aplicados em cada unidade experimental em separado. Durante todo o experimento, foi feito, semanalmente, o rodízio dos vasos.

Após 70 dias de crescimento, as plantas foram cortadas em duas porções distintas, sendo uma apical (terço apical de todos os ramos da planta) e a outra basal (restante da planta cortada rente ao solo), acondicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação forçada de ar por 72 h a 65 °C. Depois, foram pesadas para obtenção da matéria seca e moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 0,5 mm e submetidas à digestão nítrico-perclórica na proporção 3,5:1. Utilizaram-se amostras de 0,50 g do material seco e moído em 9 mL de solução digestora à temperatura de 130 °C e posteriormente até, no máximo, 220 °C. No extrato obtido, foram determinadas as concentrações de Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

O corte das plantas em porções distintas objetivou melhorar o entendimento de qual das variáveis, teor ou conteúdo, e em qual porção da planta (basal, apical ou planta toda) melhor se relaciona com os teores disponíveis no solo. Para isso, calcularam-se os conteúdos de Zn na planta toda somando os conteúdos da porção apical e basal. Os

teores na planta toda foram calculados pelo quociente entre o conteúdo na parte aérea e a produção de matéria seca da parte aérea.

Os teores de Zn obtidos pelos três métodos, e os respectivos teores e conteúdos na matéria seca da parte aérea das plantas foram submetidos à análise de variância. A significância dos modelos de regressão foi testada utilizando-se o quadrado médio do resíduo da análise de variância.

O efeito da aplicação de doses de Zn sobre a produção de matéria seca da parte aérea, teores recuperados pelos três extratores, teores e conteúdos na matéria seca da parte aérea foi avaliado por meio de análise de regressão. Os teores disponíveis no solo pelos três métodos foram correlacionados entre si. As taxas de recuperação pelos extratores foram correlacionadas com as características dos solos. Para a obtenção das equações de regressão múltiplas que relacionam a taxa de recuperação pelos diferentes extratores com características do solo, foram eliminadas algumas variáveis que apresentavam coeficiente de correlação linear entre si igual ou superior a 0,7, de modo a evitar colinearidade entre as características dos solos.

Como suporte à execução das análises estatísticas foi utilizado os softwares Statistica 6.0 e SAEG 5.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de matéria seca da parte aérea

Para a maioria dos solos, não houve influência positiva das doses de Zn na produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA) das mudas de eucalipto (Quadros 2, 3). Nos solos 1 e 4, nos quais houve efeito da aplicação do nutriente, a resposta foi negativa e linear (Quadro 3). Portanto, a disponibilidade natural de Zn nos solos estudados já era adequada ao pleno crescimento das mudas de eucalipto. Os menores teores estimados de Zn no solo foram de 0,23 e de 0,05 mg dm⁻³, pelos extratores Mehlich-1 e DTPA, respectivamente, para a condição de não adição desse nutriente (Quadro 4). Estes teores são bem menores do que aqueles do limite superior da classe de disponibilidade média (nível crítico) usados em Minas Gerais e em São Paulo, ou seja, 1,5 mg dm⁻³ de Zn pelo Mehlich-1 (Alvarez V. et al., 1999) e 1,2 mg dm⁻³ pelo DTPA (Raij et al., 1997), respectivamente.

Quadro 2. Teores de Zn disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Zn na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado (valores médios de quatro repetições) em função das doses de Zn aplicadas

Solo	Dose Zn	Teor de Zn no Solo			Produção de MS (total)	Teor de Zn na MS (total)	Conteúdo de Zn na MS (total)
		M-1	M-3	DTPA			
		----- mg dm ⁻³ -----			--- g/vaso ---	--- mg kg ⁻¹ ---	--- µg/vaso ---
1	0	0,56	0,30	0,28	25,02	14,39	359,20
	2,5	2,73	2,14	1,83	21,78	25,96	561,80
	5	4,80	4,19	3,67	20,60	37,34	767,10
	10	8,82	7,94	7,20	20,63	55,32	1122,40
	20	18,18	20,41	13,80	18,69	99,71	1875,50
2	0	7,81	3,83	2,62	28,23	23,52	665,30
	2,5	9,49	5,01	3,73	27,81	24,66	686,40
	5	10,67	6,56	4,84	26,69	27,01	720,90
	10	16,11	9,30	7,49	27,91	27,17	760,50
	20	28,40	14,88	11,20	27,38	37,17	1019,30
3	0	5,54	3,15	2,90	27,60	28,83	793,90
	2,5	7,42	4,51	3,26	28,37	30,63	870,90
	5	9,65	6,35	4,79	26,59	33,86	897,90
	10	13,64	8,75	7,35	27,44	47,74	1317,60
	20	23,94	16,01	11,85	27,17	57,86	1570,90
4	0	0,53	0,26	0,35	26,26	12,75	334,90
	2,5	2,61	1,86	1,77	25,51	19,67	501,30
	5	4,94	3,48	3,56	25,34	26,87	683,50
	10	8,28	6,82	7,25	25,45	39,73	1014,20
	20	18,63	15,25	14,89	24,09	62,31	1512,90
5	0	1,81	1,19	0,95	23,21	18,05	415,60
	2,5	3,52	2,89	2,43	22,89	22,74	513,20
	5	6,16	4,57	4,06	21,42	31,88	682,80
	10	10,73	8,57	7,06	23,59	36,93	871,30
	20	20,94	17,68	14,73	22,84	64,90	1481,00
6	0	0,35	0,27	0,23	24,92	9,97	248,40
	2,5	2,27	1,85	1,42	22,69	21,42	488,80
	5	4,07	3,86	2,92	23,34	33,35	776,60
	10	8,06	7,27	5,85	23,11	50,30	1160,20
	20	16,21	11,49	10,87	23,24	93,18	2169,60

Teores de Zn no solo: Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3). Matéria seca da parte aérea (MS).

Em estudo semelhante a este, Couto et al. (1985) não encontraram resposta em altura e PMSPA ao cultivarem mudas de eucalipto em casa de vegetação, em 12 solos de Cerrado, com baixos teores de Zn, que receberam doses variando 0 a 64 mg dm⁻³ de Zn. Dados obtidos por Soares et al. (2001), ao cultivarem eucalipto em solução nutritiva

com concentrações crescentes de Zn, mostraram resposta negativa da produção de matéria seca, possivelmente em razão de alguma contaminação dos reagentes utilizados ou da água com esse nutriente, ou que os teores já existentes nas mudas foram capazes de atender a demanda da planta.

Resultados de ausência de resposta de plantas de eucalipto à aplicação de micronutrientes, de modo geral, têm sido frequentemente observados em condições de umidade do solo elevada, próximo à capacidade de campo, em casa de vegetação (Novais et al., 1990). Isso tem ocorrido independente de origem do solo, textura, etc., mesmo para aqueles onde, no campo, os sintomas de suas deficiências são evidentes. As limitações por transporte naquelas condições devido ao déficit hídrico e à manutenção de condições para intenso transporte (irrigação frequente) em casa de vegetação são, provavelmente, razões para a diferença de resultados (Novais et al., 1990).

As raras respostas do eucalipto, especialmente na fase de mudas, à adubação com micronutrientes indicam que essa planta possui elevada capacidade de absorção e, ou, baixa demanda para seu crescimento, conforme mostram os resultados deste trabalho.

O Zn é um micronutriente pouco móvel no solo, sendo o seu transporte até a superfície das raízes predominantemente por difusão. Portanto, fatores de solo que afetam o crescimento radicular podem influenciar a disponibilidade de Zn para as plantas (Moraghan & Mascagni Jr., 1991).

Em estudos em condições de casa de vegetação, onde o teor de água do solo é mantido próximo à capacidade de campo e a temperatura mais elevada que no campo, as condições para o transporte de Zn no solo são mantidas em nível mais elevado, reduzindo a possibilidade de resposta à sua adição (Novais et al., 1990). Outro aspecto importante é o fato de que as raízes das plantas ao crescerem num ambiente confinado, como o de um recipiente, a quantidade de raízes por volume de solo aumenta, reduzindo a distância para a difusão e chegada dos nutrientes à superfície das raízes com o aumento da interceptação radicular. Por isso, mesmo que o teor do nutriente encontrado no solo seja considerado baixo ou, até mesmo, não detectável pode ser suficiente para a planta crescer e desenvolver satisfatoriamente, não apresentando ganho de produção de matéria seca com sua aplicação. Por outro lado, a faixa de toxidez pode ser atingida e a resposta ser negativa (Marschner, 1995).

Quadro 3. Equações de regressão para a produção de matéria seca (g/vaso) da parte aérea em função das doses de Zn (mg dm⁻³) adicionadas a amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r ²
1	$\hat{y} = 23,225 - 0,251^* x$	0,723
2	$\hat{y} = \bar{y} = 27,60$	-
3	$\hat{y} = \bar{y} = 27,43$	-
4	$\hat{y} = 26,022 - 0,092^{ns} x$	0,870
5	$\hat{y} = \bar{y} = 25,33$	-
6	$\hat{y} = \bar{y} = 23,46$	-

^{ns} e * = não significativo e significativo a 5 % pelo teste F, respectivamente.

A faixa de suficiência de micronutrientes é bem mais estreita do que a de macronutrientes, conforme demonstrado por Novelino et al. (1982) para várias espécies de *Eucalyptus* cultivadas em solução nutritiva com concentrações crescentes de B. Dependendo da espécie, o teor tóxico de B foi atingido com concentrações menores na solução nutritiva e a produção de matéria seca decresceu. Para Zn, a faixa de suficiência parece ser bem mais ampla do que a de B, conforme os resultados de Couto et al. (1985). O estudo de Soares (1999), sobre o cultivo de mudas de eucalipto em solução nutritiva com concentrações crescentes de Cu e Zn, mostra que a concentração de Zn para redução de 10 % na produção de matéria seca da parte aérea, é de 51 vezes maior que a de Cu para *E. maculata* e de oito vezes maior para *E. urophylla*, indicando que, para Cu a faixa de suficiência que antecede a toxidez é mais estreita. Vale ressaltar que para plantas cultivadas em solução nutritiva as quantidades absorvidas são normalmente mais elevadas que para aquelas em ambiente tamponado, como o solo.

De modo geral, uma das condições necessárias para se obtenham ganhos na produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), é um aumento correspondente na quantidade absorvida de um determinado nutriente, que será constituinte da matéria seca produzida adicionalmente. Neste trabalho, como não houve aumento da PMSPA em resposta à aplicação de Zn, o aumento dos teores e conteúdos de Zn na matéria seca da parte aérea (MSPA) ocorreu unicamente em resposta ao aumento na aquisição desse nutriente, como teoricamente era esperado. Portanto, ao invés de trabalhar com variável PMSPA, utilizaram-se teores e conteúdos de Zn na MSPA como indicativos de resposta positiva da planta à aplicação de Zn.

3.2. Teores de Zn disponíveis no solo

Os teores de Zn pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram linearmente e positivamente influenciados pelas doses aplicadas aos solos, com valores de r^2 elevados e coeficientes altamente significativos ($p \leq 0,001$) (Quadro 4). Contudo, a declividade das curvas variou com o solo, o que indica a influência de características dos solos na relação teor recuperado de Zn em função da dose aplicada (Quadro 4). Isto evidencia diferença quanto à capacidade tampão de Zn dos solos e, também, quanto a influência da composição química de cada extrator, com reflexos no modo de extração e na quantidade extraída. As diferenças nos valores dos interceptos das equações que relacionam os teores extraídos com as doses adicionadas (Quadro 4) foram devidas à disponibilidade inicial de Zn no solo (Quadro 2). Aumentos lineares e positivos nos teores no solo em função de doses, com valores de r^2 elevados, foram encontrados por Santos Neto (2003) ao trabalhar com solos de características contrastantes.

Considerando a análise conjunta dos solos com base nas declividades, as taxas de recuperação de Zn pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram de 92, 72 e 59 % do Zn adicionado, respectivamente (Quadro 4). Santos Neto (2003) encontrou taxas de recuperação de 51 %, 41 % e 36 %, respectivamente, ao utilizar os mesmos extratores.

Considerando a ausência de resposta positiva das mudas às doses aplicadas, conclui-se que os teores de Zn disponíveis de $0,23 \text{ mg dm}^{-3}$ pelo Mehlich-1 e de $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn pelo DTPA (Quadro 4), e talvez até menores do que estes, são suficientes para a produção de matéria seca de mudas de eucalipto produzidas em vasos com solo de Cerrado. Para o Mehlich-3, os interceptos para os solos 1 e 4 foram negativos, mas naturais desses solos foram de $0,30$ e $0,26 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn, respectivamente (Quadro 2).

Os extratores ácidos apresentam maior poder de extração em virtude de sua dissolução ácida, o que causa a extração de frações que não são prontamente disponíveis para as plantas, como, por exemplo, dos óxidos (Cancela et al., 2001; Nascimento, 2001; Ferreira, 2003). Porém, essas frações não disponíveis no momento da análise do solo poderão ser posteriormente, visto que muitas plantas, a exemplo do eucalipto, apresentam acidificação intensa de sua rizosfera, fenômeno que pode disponibilizar frações anteriormente inacessíveis às plantas (Novais & Smyth, 1999).

A aplicação de nutrientes ao solo e sua extração química poucos dias após a aplicação, como adotado neste trabalho, resulta em interação de baixa intensidade entre o nutriente e a matriz do solo. Por isso, estreita relação pode ser encontrada entre os teores medidos pelos extratores e as respostas da planta, fato também constatado por Couto (1985). Entretanto, interações mais fortes poderão ocorrer com o passar do tempo, e relações mais intensas encontradas inicialmente, de acordo com o extrator, poderão não mais ocorrer. Fato semelhante é o que ocorre com o P, onde ligações adicionais são formadas com o tempo reduzindo a disponibilidade para a planta (Novais & Smyth, 1999).

Quadro 4. Equações de regressão para os teores de Zn disponíveis (y , mg dm⁻³) pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em função das doses de Zn (x , mg dm⁻³) adicionadas a amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2
	Mehlich-1		Mehlich-3		DTPA pH 7,3	
1	$\hat{y} = 0,43 + 0,878^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,56 + 1,006^{***} x$	0,984	$\hat{y} = 0,25 + 0,680^{***} x$	0,999
2	$\hat{y} = 6,61 + 1,051^{***} x$	0,984	$\hat{y} = 3,74 + 0,556^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 2,73 + 0,433^{***} x$	0,995
3	$\hat{y} = 5,12 + 0,922^{***} x$	0,996	$\hat{y} = 2,95 + 0,640^{***} x$	0,995	$\hat{y} = 2,53 + 0,466^{***} x$	0,993
4	$\hat{y} = 0,27 + 0,897^{***} x$	0,994	$\hat{y} = - 0,10 + 0,751^{***} x$	0,996	$\hat{y} = 0,05 + 0,735^{***} x$	0,999
5	$\hat{y} = 1,37 + 0,968^{***} x$	0,998	$\hat{y} = 0,75 + 0,831^{***} x$	0,996	$\hat{y} = 0,67 + 0,690^{***} x$	0,997
6	$\hat{y} = 0,23 + 0,794^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 0,72 + 0,563^{***} x$	0,982	$\hat{y} = 0,23 + 0,538^{***} x$	0,999

*** = significativo a 0,1 % pelo teste F.

Os teores de Zn pelos três métodos de extração apresentaram alta correlação entre si (Quadro 5). Resultados concordantes, para os mesmos extratores, foram encontrados por Sequeira (2007), para os solos aqui utilizados, em condições de campo.

Quadro 5. Equações entre teores de Zn disponível extraído por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r^2	Equação	r^2	Equação	r^2
	Mehlich-1 com Mehlich-3		Mehlich-1 com DTPA		DTPA com Mehlich-3	
1	$\hat{y} = - 1,07 + 1,150^{***} x$	0,991	$\hat{y} = - 0,07 + 0,773^{***} x$	0,997	$\hat{y} = - 1,07 + 1,477^{***} x$	0,981
2	$\hat{y} = 0,36 + 0,521^{***} x$	0,984	$\hat{y} = 0,13 + 0,403^{***} x$	0,967	$\hat{y} = - 1,07 + 1,277^{***} x$	0,994
3	$\hat{y} = - 0,60 + 0,693^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,03 + 0,504^{***} x$	0,991	$\hat{y} = - 1,07 + 1,363^{***} x$	0,988
4	$\hat{y} = - 0,31 + 0,836^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,15 + 0,816^{***} x$	0,996	$\hat{y} = - 1,07 + 1,022^{***} x$	0,998
5	$\hat{y} = - 0,43 + 0,859^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 0,30 + 0,712^{***} x$	0,999	$\hat{y} = - 1,07 + 1,205^{***} x$	0,999
6	$\hat{y} = - 0,57 + 0,707^{***} x$	0,977	$\hat{y} = - 0,07 + 0,677^{***} x$	0,997	$\hat{y} = - 1,07 + 1,051^{***} x$	0,989

*** = significativo a 0,1 % pelo teste F. O \hat{y} corresponde ao teor de Zn pelo Mehlich-3, nas comparações com Mehlich-1 e DTPA; e pelo DTPA, na comparação com o Mehlich-1.

Correlações altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre Mehlich-3 e DTPA na extração de Zn ($r = 0,78$) foram obtidas em um estudo com amostras de 29 solos ácidos da Espanha (Obrador et al., 2007).

Correlações estreitas e altamente significativas para os teores de Zn também foram obtidas por Sequeira (2007), que, estudando 150 amostras de solos, encontrou coeficientes de correlação linear de 0,94 entre Mehlich-1 e Mehlich-3, de 0,95 entre Mehlich-1 e DTPA e de 0,90 entre Mehlich-3 e DTPA.

3.3. Relação entre Zn na parte aérea das mudas e doses aplicadas

As relações entre os teores e conteúdos de Zn na matéria seca da parte aérea (MSPA) em função das doses de Zn aplicadas foram lineares, com todos os coeficientes de regressão altamente significativos ($p \leq 0,001$) (Quadro 6).

Os teores estimados pelas equações na maior dose de Zn testada (20 mg dm^{-3}) foram de 99,3; 36,2; 59,2; 63,1; 63,6 e 92,9 mg kg^{-1} para os solos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente (Quadro 6). O solo 2 possui maior teor de matéria orgânica (MO), e nele se atingiu o menor teor de Zn na MSPA, indicando ser a MO uma característica que tampona esse nutriente no solo, restringindo sua absorção pela planta. Por outro lado, os solos 1 e 6 possuem os menores teores de argila e os maiores valores de P-rem, e nesses solos as plantas apresentaram teores de Zn mais elevados na MSPA, devido à menor capacidade tampão desses solos.

Quadro 6. Equações de regressão para os teores (y , mg kg^{-1}) e conteúdos (y , $\mu\text{g/vaso}$) de Zn na matéria seca da parte aérea de plantas de eucalipto em função das doses (x , mg dm^{-3}) de Zn adicionadas a amostras de seis solos de Cerrado

Solo	Equação	r^2	Equação	r^2
	Teor		Conteúdo	
1	$\hat{y} = 14,92 + 4,219^{***} x$	0,999	$\hat{y} = 372,3 + 75,315^{**} x$	0,999
2	$\hat{y} = 22,95 + 0,661^* x$	0,935	$\hat{y} = 637,9 + 17,675^* x$	0,945
3	$\hat{y} = 28,13 + 1,554^{**} x$	0,960	$\hat{y} = 779,0 + 41,505^{**} x$	0,945
4	$\hat{y} = 13,75 + 2,468^{**} x$	0,997	$\hat{y} = 367,8 + 58,875^{**} x$	0,993
5	$\hat{y} = 17,66 + 2,299^{**} x$	0,983	$\hat{y} = 393,7 + 53,203^{**} x$	0,993
6	$\hat{y} = 10,89 + 4,101^{***} x$	0,998	$\hat{y} = 255,6 + 95,088^{***} x$	0,998

*, ** e *** = significativo a 5, 1, e 0,1 % pelo teste F, respectivamente.

Para diversas culturas como arroz, cevada, milho, soja e trigo, os valores das correlações lineares entre teores foliares e teores disponíveis no solo têm sido bastante variáveis. Em geral, o extrator adequado para uma cultura não é, necessariamente, o melhor para outras, conforme relatado por vários autores (Cancela et al., 2001; Silva et al., 2003; Gonçalves Jr. et al., 2006; Obrador et al., 2007). Isso indica a necessidade de estudos para cada solo e cultura específica na seleção do extrator mais eficiente.

Portanto, diante dos dados obtidos neste trabalho e a similaridade dos valores de r^2 dos modelos ajustados (dose x extrator, dose x planta, extrator x extrator), a avaliação da disponibilidade de Zn para o eucalipto poderá ser feita com qualquer um dos três extratores testados. Contudo, o Mehlich-1, que é utilizado nos laboratórios de análise de rotina em Minas Gerais e em vários estados do país (Lopes & Alvarez V., 1999), seria mais recomendado, pela facilidade operacional e por ser usado na grande maioria dos laboratórios do país. Entretanto, como citado anteriormente, a extração química poucos dias após a aplicação do nutriente pode não revelar o efeito da forte interação do nutriente com a matriz sólida do solo, e boas relações serem encontradas com os três extratores. Por outro lado, se as extrações forem feitas após um tempo maior de contato do nutriente com o solo, permitindo o estabelecimento de ligações adicionais, poderá haver redução da disponibilidade para a planta, e, possivelmente, os extratores apresentarão eficiência diferenciada. Fato semelhante é o que ocorre com o P (Novais & Smyth, 1999).

3.4. Relação entre teor natural de Zn no solo e Zn na planta

De acordo com Bray (1948), o extrator ideal é aquele que extrai as formas disponíveis para as plantas, em solos com diferentes características, que apresentam adequação aos laboratórios de rotina. Além disso, deve se correlacionar estreitamente com as respostas das culturas à presença dos *teores naturais* dos nutrientes no solo. Na tentativa de atender a esses preceitos, foram estabelecidas relações comparando o comportamento dos três extratores, nas condições de não aplicação (dose zero) e aplicação dos nutrientes (demais doses testadas), conforme mostram os quadros 7, 8, 9 e 10.

Os modelos ajustados que relacionam produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo na parte aérea com os teores naturais de Zn disponíveis (dose zero) (Quadro 7) foram semelhantes para todos os extratores quanto aos coeficientes de

determinação. Esses resultados indicariam que o teor crítico de Zn não dependeria da capacidade tampão do solo, contrariamente ao que se demonstrou no item 3.1 e ao que se tem observado para fósforo (Novais & Smyth, 1999). Os resultados do quadro 7 indicam que o teor crítico seria maior do que o teor natural de Zn dos solos, ou seja, 7,81, 3,83 e 2,90 mg dm⁻³ de Zn, respectivamente pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Esses resultados contrastantes mostram a importância e a influência que a metodologia pode ter nos resultados do estudo.

Quadro 7. Equações de regressão entre a PMSPA, teores e conteúdos de Zn na MSPA de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função dos teores naturais existentes no solo (dose zero) extraídos pelo M-1, M-3 e DTPA

Extrator	Equação	r ²	Equação	r ²	Equação	r ²
	PMSPA (g/vaso)		Teor na planta (mg kg ⁻¹)		Conteúdo na planta (µg/vaso)	
M-1	$\hat{y} = 24,62 + 0,452^* x$	0,58	$\hat{y} = 8,8 + 7,21^{***} x - 0,67^{**} x^2$	0,97	$\hat{y} = 214 + 182,3^* x - 15,62^* x^2$	0,94
M-3	$\hat{y} = 24,60 + 0,853^* x$	0,53	$\hat{y} = 8,9 + 11,82^* x - 1,99^0 x^2$	0,91	$\hat{y} = 234 + 256,3^0 x - 33,90^{ns} x^2$	0,90
DTPA	$\hat{y} = 24,52 + 1,108^* x$	0,53	$\hat{y} = 11,1 + 5,58^{**} x$	0,92	$\hat{y} = 262 + 169,8^{***} x$	0,96

^{ns}, ⁰, ^{*}, ^{**} e ^{***} = não significativo e significativo a 10, 5, 1, e 0,1 % pelo teste F, respectivamente. As equações foram ajustadas com as médias de cada solo. PMSPA= produção de matéria seca da parte aérea; MSPA= matéria seca da parte aérea; M-1= Mehlich-1; M-3= Mehlich-3.

Os coeficientes de correlação entre os teores de Zn disponíveis no solo com os teores e conteúdos nas plantas foram mais elevados para todos os extratores na dose zero que nas demais doses (Quadro 8). As correlações na dose zero tiveram valores muito próximos para os três extratores; entretanto, nas demais doses o Mehlich-1 teve valores menores que Mehlich-3 e DTPA.

Quadro 8. Coeficiente de correlação linear (r) entre teores e conteúdos de Zn na matéria seca da parte aérea de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado e os teores de Zn disponíveis, na dose zero e nas demais doses, extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA

Teores disponíveis no solo com Teor na planta			
DOSE	M-1	M-3	DTPA
Zero	0,81 ^{***}	0,87 ^{***}	0,88 ^{***}
Demais [*]	0,58 ^{***}	0,80 ^{***}	0,80 ^{***}
Teores disponíveis no solo com Conteúdo na planta			
Zero	0,86 ^{***}	0,91 ^{***}	0,89 ^{***}
Demais [*]	0,69 ^{***}	0,82 ^{***}	0,85 ^{***}

^{***} = significativo a 0,1 % pelo teste F, respectivamente. Demais = doses 2,5, 5, 10 e 20 mg dm⁻³ de Zn.

3.5. Características do solo e recuperação de Zn pelos extratores

A correlação entre características do solo e a disponibilidade de Zn indica a sensibilidade dos extratores à capacidade tampão do solo (Quadro 9). Entretanto, o teor e conteúdo do nutriente nas plantas só foram influenciados pelo teor de matéria orgânica.

Quadro 9. Coeficientes de correlação linear (r) entre características do solo, teor e conteúdo de Zn na MSPA, e as declividades das equações do quadro 4 - Zn recuperado pelos extratores Mehlich-1(M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função do adicionado às amostras de seis solos de Cerrado

Características do solo	EXTRATORES			PLANTA	
	M-1	M-3	DTPA	Teor	Conteúdo
pH	0,54 ^{***}	-0,69 ^{***}	-0,96 ^{***}	-0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}
H+Al	0,49 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,25 ^o	-0,19 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
Matéria Orgânica	0,82 ^{***}	-0,44 ^{**}	-0,35 [*]	-0,27 ^o	-0,13 ^{ns}
P-rem	-0,71 ^{***}	0,47 ^{**}	0,46 ^{**}	0,20 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Argila	0,64 ^{***}	-0,54 ^{**}	-0,46 ^{**}	-0,19 ^{ns}	-0,02 ^{ns}

^{ns}, ^{*}, ^{**} e ^{***} = não significativo e significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F, respectivamente.

As correlações com os teores de matéria orgânica e P-rem foram as que tiveram os maiores valores para o Mehlich-1 (M-1), indicando que este extrator extrai mais Zn de solos com maiores teores de matéria orgânica e menor P-rem (Quadro 9), o que, à luz do conhecimento atual, não faz sentido, pois era de se esperar o contrário, ou seja, ao aumentar o teor de argila, diminuiria a taxa de recuperação pelo extrator, pois o número de sítios de adsorção de Zn seria aumentado, como o encontrado para o Mehlich-3 (M-3) neste trabalho e por Couto (1985) para os extratores M-1 e HCl 0,1 mol L⁻¹. Por outro lado, é razoável considerar que, mesmo que o desgaste do extrator seja maior nos solos mais argilosos e com maiores teores de matéria orgânica, a correlação com o Zn extraído permanecesse positiva, devido ao maior teor de Zn nesses solos, ou seja, o efeito fonte de Zn suplantaria o desgaste do extrator. O P-rem é uma característica que tem sido usada como medida do fator capacidade de fósforo e de enxofre (Alvarez V. et al., 2000).

Para o M-3, as melhores correlações foram com pH, teor de argila e P-rem, indicando maior extração de Zn em solos com valores menores de pH e argila e maiores de P-rem. O DTPA apresentou correlação estreita apenas com o pH, indicando ser o

extrator mais sensível a diferentes condições de pH, diminuindo a extração de Zn à medida em que se elevam os valores de pH, o que corrobora os dados obtidos por Nascimento (2001) e Santos Neto (2003).

Equações de regressão múltipla foram ajustadas entre as taxas de Zn recuperado em função da sua dose adicionada aos solos e algumas características dos solos que influenciam na capacidade tampão de Zn (Quadro 10).

Quadro 10. Equações de regressão para as taxas de recuperação ($\text{mg dm}^{-3}/\text{mg dm}^{-3}$) de Zn pelo Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função de algumas características de seis solos de Cerrado

Equação de Regressão	r²
Mehlich-1	
TR= 0,71 + 0,0647 [*] MO	0,650
TR= 1,08 + 0,0063 ^o P-rem	0,490
TR= 0,76 + 0,0036 ^o ARG	0,406
Mehlich-3	
TR= 1,05 – 0,00645 ^o ARG	0,486
TR= 1,99 – 0,2403 ^o pH	0,466
TR= 0,51 + 0,010 ^o P-rem	0,447
DTPA	
TR= 1,90 – 0,2519 ^{**} pH	0,810
TR= 2,4 – 0,0049 ^o P-rem – 0,3216 ^{**} pH	0,858

^o, ^{*}, ^{**} e ^{***} = significativo a 10, 5, 1 e 0,1 % pelo teste F, respectivamente. TR - taxa de recuperação; MO - matéria orgânica (dag kg^{-1}); P-rem - fósforo remanescente (mg L^{-1}) e ARG - argila (%).

Os modelos de regressão ajustados para as taxas de Zn recuperado em função do adicionado nos solos (Quadro 10) mostram que matéria orgânica (MO) prediz 65 % dos teores de Zn recuperados pelo Mehlich-1, enquanto o P-rem explica 49 %. Para o Mehlich-3 o teor de argila explica 48,6 % e o pH 46,6 % dos teores extraídos em função do adicionado. As taxas de recuperação de Zn extraídos pelo DTPA foram explicadas pelo pH em 81 % e pelo pH e P-rem em 85,8 %.

Com base nos modelos ajustados, as variáveis de solo que melhor explicaram as taxas de recuperação de Zn pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 foram matéria orgânica, P-rem e teor de argila. Para o DTPA, o pH foi a melhor variável explicativa das taxas de recuperação por este extrator. As taxas de recuperação de Zn para os mesmos três extratores foram mais bem explicadas pelos teores de argila e matéria orgânica (Santos Neto, 2003).

3.6. Zinco no solo e em diferentes partes da planta

Apesar de significativas para a maioria dos solos, as correlações dos teores de Zn no solo pelos três extratores com os respectivos teores e conteúdos da parte aérea, tiveram valores sensivelmente menores as correlações da porção apical em relação à basal e planta toda, indicando que o gradiente de Zn entre os tecidos novos e velhos não é expressivo (Quadro 11).

Correlações entre os teores de Zn da porção basal e planta toda apresentaram valores bastante elevados ($r > 0,99$) para todos os solos, indicando que se pode utilizar tanto a porção basal ou a planta toda. Embora tenham tido valores bastante elevados, as correlações dos teores no solo com o conteúdo na planta toda, foram sensivelmente menores, para a maioria dos casos, do que as correlações dos teores no solo com os teores na planta toda.

Em resumo, pode-se concluir que os teores de Zn no solo apresentam estreitas correlações com os teores e conteúdos presentes na matéria seca das porções basais, apicais ou de toda a parte aérea de mudas de eucalipto. Sequeira (2007), ao correlacionar os teores de Zn no solo, pelos diferentes extratores, e os teores nas folhas das diferentes posições da planta, obteve os melhores resultados com os teores foliares na posição proximal do terço basal, com os melhores valores de r^2 para o Mehlich-1, seguido pelo Mehlich-3 e DTPA.

Quadro 11. Coeficientes de correlação linear entre os teores de Zn obtidos com os extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA e os conteúdos e teores encontrados nas posições basal e apical da parte aérea das plantas de eucalipto

SOLO		M-1	M-3	DTPA	Tbas	Tapi	Ttoda	Cbas	Capi
1	M-3	0,96							
	DTPA	0,99	0,97						
	Tbas	0,99	0,95	0,99					
	Tapi	0,96	0,97	0,98	0,96				
	Ttoda	0,99	0,96	0,99	1,00	0,97			
	Cbas	0,96	0,89	0,95	0,96	0,90	0,96		
	Capi	0,87	0,94	0,91	0,85	0,94	0,87	0,80	
	Ctoda	0,97	0,94	0,97	0,97	0,95	0,97	0,99	0,89
2	M-3	0,96							
	DTPA	0,95	0,99						
	Tbas	0,85	0,89	0,87					
	Tapi	0,87	0,89	0,85	0,92				
	Ttoda	0,87	0,91	0,87	0,99	0,96			
	Cbas	0,73	0,78	0,75	0,92	0,86	0,93		
	Capi	0,68	0,74	0,69	0,77	0,85	0,79	0,66	
	Ctoda	0,77	0,83	0,79	0,95	0,92	0,96	0,97	0,81
3	M-3	0,95							
	DTPA	0,87	0,90						
	Tbas	0,92	0,91	0,79					
	Tapi	0,89	0,88	0,74	0,97				
	Ttoda	0,92	0,90	0,78	1,00	0,98			
	Cbas	0,87	0,86	0,75	0,96	0,92	0,97		
	Capi	0,75	0,78	0,68	0,82	0,82	0,80	0,72	
	Ctoda	0,88	0,88	0,77	0,98	0,94	0,98	0,99	0,81
4	M-3	0,96							
	DTPA	0,98	0,98						
	Tbas	0,97	0,98	0,97					
	Tapi	0,94	0,94	0,94	0,96				
	Ttoda	0,97	0,97	0,96	1,00	0,97			
	Cbas	0,90	0,93	0,88	0,96	0,91	0,97		
	Capi	0,87	0,90	0,93	0,89	0,94	0,89	0,77	
	Ctoda	0,93	0,96	0,93	0,98	0,96	0,99	0,99	0,86
5	M-3	0,97							
	DTPA	0,96	0,99						
	Tbas	0,96	0,97	0,97					
	Tapi	0,94	0,95	0,96	0,98				
	Ttoda	0,96	0,96	0,97	1,00	0,99			
	Cbas	0,97	0,97	0,96	0,99	0,98	0,99		
	Capi	0,89	0,93	0,95	0,92	0,94	0,92	0,89	
	Ctoda	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	0,93
6	M-3	0,86							
	DTPA	0,99	0,81						
	Tbas	0,99	0,85	0,97					
	Tapi	0,98	0,87	0,96	0,99				
	Ttoda	0,99	0,85	0,97	1,00	0,99			
	Cbas	0,99	0,83	0,97	0,99	0,98	1,00		
	Capi	0,95	0,87	0,92	0,94	0,97	0,94	0,92	
	Ctoda	0,99	0,85	0,97	1,00	0,99	1,00	1,00	0,95

M-1, M-3 e DTPA = teor de Zn extraído do solo por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, respectivamente; **Tbas, Tapi e Ttoda** = teor de Zn na parte aérea basal, apical e da planta toda, respectivamente. **Cbas, Capi e Ctoda** = conteúdo de Zn na parte aérea basal, apical e na planta toda, respectivamente. Todos os valores são significativos a 0,1 % pelo teste F.

4. CONCLUSÕES

Os níveis críticos de Zn em solos de Cerrado, para o crescimento de mudas de eucalipto, são iguais ou inferiores a 0,23 e 0,05 mg dm⁻³ pelos extratores Mehlich-1 e DTPA, respectivamente.

Os teores de Zn e no solo e na planta, bem como o respectivo conteúdo, aumentam com a elevação das doses adicionadas desse nutriente.

Os teores e conteúdos de Zn na planta mostram estreita relação com os teores extraídos pelos três extratores.

Os teores de Zn extraídos pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram altamente correlacionados entre si.

O teor de matéria orgânica e o P-remanescente são características dos solos que mais influenciam negativamente nas taxas de recuperação de Zn pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, enquanto que para o DTPA, as taxas de recuperação são mais influenciadas pelo pH.

O Mehlich-1 é o extrator mais recomendado para avaliar a disponibilidade de Zn para mudas de eucalipto, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2007. Brasília, DF: 2008. 90p.
- ALVAREZ V., V.H.. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, 1974, 125p. (Tese de Mestrado)
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.25-32.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 2000, 25:27-32.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M. & ADAMS, M.A., eds. Nutrition of eucalypts. Collingwood, CISRO, 1996, p.335-356.
- BARROS, N.F. & COMMERFORD, N.B. Sustentabilidade da Produção de Florestas Plantadas na Região Tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em Ciência do Solo - II. Viçosa, 2002, p.487-592.
- BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. Visão Agrícola, 2005, 4:76-79.
- BRAY, R.H. Requirements for successful soils tests. Soil Sci., 1948, 66:83-89.
- BOUCHARDET, J.A. Crescimento características físicas e anatômicas da madeira juvenil de dois clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em resposta à aplicação de boro. Piracicaba, ESALQ, 2002, 69p. (Dissertação de Mestrado)
- CANCELA, R.C.; FREIRE, A.R.; ABREU, C.A. & GONZÁLEZ, A.P. Eficacia de cuatro extractantes an la evaluación de la disponibilidad de cobre para maíz y soja. Bragantia, 2001, 60:205-212.
- COUTO, C. ; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Resposta do eucalipto à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. R. Árvore, 1985, 9 (2):134-148.
- DELL, B.; MALAJCZUK, D.; XU, D. & GROVE, T.S. Nutrient disorders in plantation eucalypts. 2.ed. Canberra, ACIAR, 2001, 188p.
- FERREIRA, G.B. Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, 2003, 169p. (Tese de Doutorado)

- GONÇALVES Jr., A.C.; PRESTES, A.L.; RIBEIRO, O.L. & SANTOS, A.L. Métodos extratores e fitodisponibilidade de zinco para milho em Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. *Scient. Agra.*, 2006, 7:35-40.
- HARTER, R.D. Micronutrient adsorption-desorption 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.59-53.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Developemnt of a DTPA soil of zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Soc. Am. Jou.*, 1978, 42:421-428.
- LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Apresentação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ, V.H., eds. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5.ed. Viçosa, CFSEMG, 1999, p.21-24.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1995, 889p.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄. Raleigh, North Carolina Soil Test Div., 1953. (não publicado)
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Science Plant Anal.*, 1984, 15:1409-1416.
- MORAGHAN, J.T. & MASGAGNI Jr., H.J.. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Madison, SSSA, 1991, p.371-425.
- 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)
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, L.C.L. & MELICIO, A.C.F.D. Fracionamento, dessorção e extração química de Zn em Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 2002, 26:599-606.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F., eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, UFV, 1990, p.25-98.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV, 1999, 399p.
- NOVELINO, J.O. ; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. & MUNIZ, A.S. Efeito de níveis de boro em solução nutritiva no crescimento de *Eucalyptus* spp. *R. Árvore*, 1982, 6 (1):45-51.
- OBRADOR, A.; ALVAREZ, J.M.; LOPEZ-VALDIVIA, L.M.; GONZALEZ, D.; NIVILLO, M.I. & RICO, M.I. Relationships of soil properties with Mn and Zn

distribution in acid soils and their uptake by a barley crop. *Geoderma*, 2007, 137:432-443.

PINHEIRO, A.L. Reflexos da fertilização mineral de boro na estrutura anatômica, no crescimento e na seca-de-ponteiro de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no Cerrado de Minas Gerais. Curitiba, UFPR, 1999, 191p. (Tese de Doutorado)

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, Â.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. IAC. Campinas, SP. 1996, 285p.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 2005, 29:297-300.

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

SEQUEIRA, C.H. Disponibilidade de micronutrientes em solos e sua correlação com teores foliares em povoamentos jovens de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 36p. (Dissertação de Mestrado)

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S.; MATA, J.D.V. & CEGANA, A.C.V. Extratores para a quantificação do zinco e do cobre em solos cultivados com soja. *Acta Scient.*, 2003, 26:361-366.

SOARES, C.R.F.S. Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999, 136p. (Dissertação de Mestrado)

SOARES, C.R.F.S.; GRAZZIOTTI, P.H.; SIQUEIRA, J.O.; CARVALHO, J.G. & MOREIRA, F.M.S. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2001, 36:339-348.

CONCLUSÕES GERAIS

Os níveis críticos de Cu e de Zn em solos de Cerrado, para o crescimento de mudas de eucalipto, são iguais ou inferiores a 0,12 e 0,23 mg dm⁻³ pelo Mehlich-1 e iguais ou inferiores a 0,09 e 0,05 mg dm⁻³ pelo DTPA, respectivamente.

Os teores de Cu e de Zn no solo e na planta, bem como os respectivos conteúdos, aumentam com a elevação das doses adicionadas desses nutrientes.

Os teores e conteúdos de Cu e de Zn na planta mostram estreita relação com os teores extraídos pelos três extratores.

Os teores de Cu e de Zn extraídos pelo Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA foram altamente correlacionados entre si.

O teor de matéria orgânica e o P-remanescente são características dos solos que mais influenciam negativamente nas taxas de recuperação de Cu e de Zn pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, enquanto que para o DTPA, as taxas de recuperação são mais influenciadas pelo pH.

O Mehlich-1 é o extrator mais recomendado para avaliar a disponibilidade de Cu e de Zn para mudas de eucalipto, pela facilidade operacional deste método frente aos outros e por este já ser usado na grande maioria dos laboratórios do país.

APÊNDICE

Quadro 1. Teores de Cu disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Cu na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Cu aplicadas (bloco 1)

Solo	Dose	Teor de Cu no Solo			Produção de MS			Teor de Cu na MS			Conteúdo de Cu na MS		
	Cu	M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
		mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso		
1	0	0,24	0,05	0,15	14,10	9,67	23,77	0,50	3,04	1,53	7,05	29,40	36,45
	2	1,42	1,24	1,31	11,87	9,24	21,11	3,61	6,04	4,67	42,85	55,81	98,66
	4	2,92	2,85	2,99	13,86	8,50	22,36	6,56	7,57	6,94	90,92	64,35	155,27
	8	5,96	5,22	5,32	15,56	8,93	24,49	7,94	8,25	8,05	123,55	73,67	197,22
	16	13,04	14,70	12,21	14,54	8,92	23,46	10,12	9,03	9,71	147,14	80,55	227,69
2	0	0,98	0,80	1,04	16,81	12,15	28,96	1,95	4,12	2,86	32,78	50,06	82,84
	2	1,83	1,82	2,10	19,98	10,42	30,40	3,01	5,76	3,95	60,14	60,02	120,16
	4	2,80	2,97	3,18	18,55	9,89	28,44	3,63	6,05	4,47	67,34	59,83	127,17
	8	4,61	4,73	3,74	20,20	10,57	30,77	4,35	6,57	5,11	87,87	69,44	157,31
	16	8,58	9,17	12,21	19,60	10,21	29,81	5,68	6,73	6,04	111,33	68,71	180,04
3	0	1,10	0,50	1,33	20,27	8,20	28,46	3,93	5,25	4,31	79,66	43,05	122,71
	2	2,37	1,72	1,87	20,42	8,94	29,36	4,55	6,10	5,02	92,91	54,53	147,44
	4	4,02	3,04	3,13	15,41	10,53	25,94	5,92	5,73	5,84	91,23	60,34	151,57
	8	6,86	5,20	5,27	17,28	8,05	25,33	6,66	6,82	6,71	115,08	54,90	169,98
	16	12,65	9,33	11,33	18,82	9,44	28,26	7,33	6,21	6,96	137,95	58,62	196,57
4	0	0,34	0,04	0,25	17,17	8,92	26,09	1,55	4,25	2,47	26,61	37,91	64,52
	2	1,54	1,37	1,58	18,61	8,78	27,39	6,67	6,98	6,77	124,13	61,28	185,41
	4	3,32	2,66	3,16	17,12	8,91	26,03	4,60	6,56	5,27	78,75	58,45	137,20
	8	5,79	4,98	6,55	18,68	7,60	26,28	9,17	7,91	8,81	171,30	60,12	231,42
	16	11,39	10,93	13,71	14,59	10,27	24,86	10,74	8,36	9,76	156,70	85,86	242,56
5	0	1,21	0,71	0,87	13,95	8,48	22,43	5,32	5,69	5,46	74,21	48,25	122,46
	2	2,75	2,01	2,20	14,61	8,54	23,15	7,45	6,37	7,05	108,84	54,40	163,24
	4	4,46	3,34	3,70	13,24	8,23	21,47	8,39	6,61	7,71	111,08	54,40	165,48
	8	6,75	6,51	6,97	14,68	7,92	22,60	9,13	6,80	8,31	134,03	53,86	187,89
	16	9,86	13,74	12,40	15,16	6,70	21,86	9,09	6,90	8,42	137,80	46,23	184,03
6	0	1,12	0,94	0,81	15,90	8,29	24,19	5,42	7,57	6,16	86,18	62,76	148,94
	2	2,70	2,43	2,09	15,40	7,60	23,00	8,83	7,29	8,32	135,98	55,40	191,38
	4	3,97	4,14	3,23	14,99	9,40	24,39	8,26	6,49	7,58	123,82	61,01	184,83
	8	7,08	7,35	5,65	14,77	8,80	23,57	10,10	7,50	9,13	149,18	66,00	215,18
	16	14,78	14,67	10,67	15,06	9,29	24,35	12,16	8,30	10,69	183,13	77,09	260,22

Teores de Cu no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 2. Teores de Cu disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Cu na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Cu aplicadas (bloco 2)

Solo	Dose Cu	Teor de Cu no Solo			Produção de MS			Teor de Cu na MS			Conteúdo de Cu na MS		
		M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
	mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso			
1	0	0,20	0,00	0,10	18,05	6,51	24,56	1,95	3,79	2,44	35,20	24,67	59,87
	2	1,60	1,31	1,17	12,43	6,23	18,66	6,59	7,35	6,84	81,91	45,79	127,70
	4	3,39	2,85	2,47	10,91	5,70	16,61	12,67	10,13	11,80	138,23	57,74	195,97
	8	6,49	5,85	5,09	18,54	6,34	24,88	10,64	8,89	10,19	197,27	56,36	253,63
	16	6,48	11,33	9,56	12,76	6,76	19,52	11,87	8,34	10,65	151,46	56,38	207,84
2	0	0,95	0,39	0,84	19,58	9,21	28,79	3,25	5,23	3,88	63,64	48,17	111,81
	2	1,81	0,99	1,86	23,13	6,89	30,02	4,59	6,79	5,09	106,17	46,78	152,95
	4	2,63	1,84	2,92	17,89	8,92	26,81	6,15	6,23	6,18	110,02	55,57	165,59
	8	4,53	4,12	4,72	18,75	7,45	26,20	5,10	5,88	5,32	95,63	43,81	139,44
	16	9,48	9,28	9,58	21,45	7,39	28,84	8,65	7,76	8,42	185,54	57,35	242,89
3	0	1,05	0,44	2,56	20,34	7,45	27,79	4,44	5,60	4,75	90,31	41,72	132,03
	2	2,29	1,43	0,62	21,66	8,00	29,66	6,62	6,31	6,54	143,39	50,48	193,87
	4	3,82	2,44	2,63	18,81	6,43	25,24	7,76	6,79	7,51	145,97	43,66	189,63
	8	6,01	4,19	1,53	17,60	9,23	26,83	6,48	7,19	6,72	114,05	66,36	180,41
	16	13,47	8,49	4,38	21,32	8,06	29,38	7,12	6,07	6,83	151,80	48,92	200,72
4	0	0,33	0,00	0,18	18,87	8,15	27,02	1,85	3,63	2,39	34,91	29,58	64,49
	2	1,53	1,26	1,48	19,91	7,59	27,50	6,39	7,14	6,60	127,22	54,19	181,41
	4	2,96	1,52	2,82	17,22	7,12	24,34	9,17	7,91	8,80	157,91	56,32	214,23
	8	5,66	5,19	5,77	18,89	6,66	25,55	8,31	7,35	8,06	156,98	48,95	205,93
	16	13,11	10,49	11,52	18,44	7,00	25,44	9,62	7,80	9,12	177,39	54,60	231,99
5	0	1,19	0,64	0,72	15,76	7,99	23,75	3,98	5,14	4,37	62,72	41,07	103,79
	2	2,85	2,03	1,99	14,82	7,60	22,42	6,23	5,09	5,84	92,33	38,68	131,01
	4	4,78	3,75	3,66	13,72	7,16	20,88	9,94	7,24	9,01	136,38	51,84	188,22
	8	6,96	5,92	5,53	13,56	8,00	21,56	10,04	6,37	8,68	136,14	50,96	187,10
	16	14,28	11,25	10,02	14,01	7,33	21,34	10,11	6,73	8,95	141,64	49,33	190,97
6	0	1,01	0,62	0,64	14,78	8,34	23,12	5,81	6,41	6,03	85,87	53,46	139,33
	2	2,61	1,92	1,76	11,04	7,01	18,05	6,76	7,93	7,21	74,63	55,59	130,22
	4	3,68	3,40	2,98	15,88	7,83	23,71	6,40	6,82	6,54	101,63	53,40	155,03
	8	6,45	5,27	5,21	15,99	5,83	21,82	8,60	7,81	8,39	137,51	45,53	183,04
	16	13,56	10,38	9,70	12,98	7,37	20,35	11,12	8,42	10,14	144,34	62,06	206,40

Teores de Cu no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 3. Teores de Cu disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Cu na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Cu aplicadas (bloco 3)

Solo	Dose Cu	Teor de Cu no Solo			Produção de MS			Teor de Cu na MS			Conteúdo de Cu na MS		
		M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
	mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso			
1	0	0,22	0,08	0,15	18,66	6,97	25,63	1,35	3,11	1,83	25,19	21,68	46,87
	2	1,71	1,50	1,30	16,60	5,95	22,55	7,12	7,82	7,30	118,19	46,53	164,72
	4	3,17	3,01	2,88	14,58	7,13	21,71	10,96	7,57	9,85	159,80	53,97	213,77
	8	6,82	6,18	5,46	17,75	6,60	24,35	10,67	8,70	10,14	189,39	57,42	246,81
	16	13,32	12,71	10,74	15,77	7,32	23,09	10,96	8,97	10,33	172,84	65,66	238,50
2	0	1,01	0,74	0,97	20,02	7,86	27,88	3,07	5,11	3,64	61,46	40,16	101,62
	2	0,97	0,75	0,93	21,28	9,46	30,74	3,55	5,63	4,19	75,54	53,26	128,80
	4	3,02	2,97	3,23	17,92	8,93	26,85	5,30	7,05	5,88	94,98	62,96	157,94
	8	4,77	4,80	5,18	16,57	9,48	26,05	5,00	6,33	5,48	82,85	60,01	142,86
	16	9,52	8,79	9,78	17,57	11,17	28,74	5,74	6,47	6,02	100,85	72,27	173,12
3	0	1,18	0,58	0,71	20,28	7,87	28,15	3,96	5,19	4,30	80,31	40,85	121,16
	2	2,28	1,52	1,64	18,04	8,95	26,99	4,55	5,76	4,95	82,08	51,55	133,63
	4	3,76	2,76	2,73	19,82	9,23	29,05	5,32	5,60	5,41	105,44	51,69	157,13
	8	6,90	5,20	5,10	17,94	8,26	26,20	6,78	5,83	6,48	121,63	48,16	169,79
	16	12,15	9,51	9,34	18,06	7,28	25,34	8,18	6,28	7,63	147,73	45,72	193,45
4	0	0,31	0,07	0,22	18,09	8,60	26,69	2,50	3,00	2,66	45,23	25,80	71,03
	2	1,42	1,11	1,39	19,85	9,29	29,14	6,21	5,28	5,91	123,27	49,05	172,32
	4	2,85	2,52	2,86	20,64	6,71	27,35	9,41	6,42	8,68	194,22	43,08	237,30
	8	5,67	4,87	5,26	17,24	7,62	24,86	9,21	6,42	8,35	158,78	48,92	207,70
	16	11,21	10,13	10,50	19,18	7,32	26,50	11,47	6,96	10,22	219,99	50,95	270,94
5	0	2,11	2,02	2,07	15,96	7,52	23,48	7,76	6,31	7,30	123,85	47,45	171,30
	2	2,67	1,93	2,14	15,40	6,81	22,21	6,91	5,42	6,45	106,41	36,91	143,32
	4	3,25	3,43	3,56	14,09	7,15	21,24	9,35	5,52	8,06	131,74	39,47	171,21
	8	7,77	6,41	6,30	16,28	7,71	23,99	8,38	5,82	7,56	136,43	44,87	181,30
	16	13,35	10,07	11,38	15,75	6,74	22,49	8,22	6,60	7,73	129,47	44,48	173,95
6	0	1,15	1,05	0,69	18,08	6,31	24,39	4,85	7,38	5,50	87,69	46,57	134,26
	2	2,58	2,58	1,96	19,23	7,34	26,57	6,96	7,28	7,05	133,84	53,44	187,28
	4	3,88	4,01	3,24	16,63	8,31	24,94	8,23	7,22	7,89	136,86	60,00	196,86
	8	7,20	7,29	5,88	15,73	7,81	23,54	9,14	7,53	8,61	143,77	58,81	202,58
	16	13,65	12,70	10,65	16,65	7,37	24,02	11,02	8,86	10,36	183,48	65,30	248,78

Teores de Cu no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 4. Teores de Cu disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Cu na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Cu aplicadas (bloco 4)

Solo	Dose Cu	Teor de Cu no Solo			Produção de MS			Teor de Cu na MS			Conteúdo de Cu na MS		
		M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
	mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso			
1	0	0,36	0,01	0,14	14,89	6,54	21,43	1,05	1,74	1,26	15,63	11,38	27,01
	2	1,68	1,37	1,39	11,10	5,95	17,05	4,67	6,89	5,45	51,84	41,00	92,84
	4	3,21	2,89	2,82	15,64	6,06	21,70	8,29	7,97	8,20	129,66	48,30	177,96
	8	6,31	5,59	5,46	12,24	5,20	17,44	6,35	7,95	6,83	77,72	41,34	119,06
	16	13,01	12,07	9,82	13,94	7,05	20,99	9,11	8,92	9,05	126,99	62,89	189,88
2	0	0,85	0,69	1,01	19,13	9,27	28,40	3,09	3,89	3,35	59,11	36,06	95,17
	2	1,88	1,70	2,27	15,30	9,89	25,19	2,91	4,30	3,46	44,52	42,53	87,05
	4	1,78	2,64	3,35	17,90	8,52	26,42	5,48	5,64	5,53	98,09	48,05	146,14
	8	4,60	4,28	5,50	18,95	8,69	27,64	5,78	5,58	5,72	109,53	48,49	158,02
	16	9,13	8,41	10,80	18,63	8,26	26,89	7,81	6,50	7,41	145,50	53,69	199,19
3	0	1,07	0,48	0,72	20,18	9,27	29,45	3,39	4,98	3,89	68,41	46,16	114,57
	2	2,27	1,35	1,75	17,60	8,20	25,80	6,35	6,03	6,25	111,76	49,45	161,21
	4	3,49	2,30	2,81	17,70	8,44	26,14	6,43	6,08	6,32	113,81	51,32	165,13
	8	6,43	4,30	5,20	17,56	11,39	28,95	6,01	8,92	7,16	105,54	101,60	207,14
	16	10,98	7,80	8,95	16,76	9,07	25,83	7,43	6,23	7,01	124,53	56,51	181,04
4	0	0,27	0,00	0,21	15,06	7,02	22,08	2,05	3,99	2,67	30,87	28,01	58,88
	2	1,34	0,91	1,39	15,40	9,25	24,65	5,23	5,33	5,27	80,54	49,30	129,84
	4	2,29	1,80	2,68	15,98	7,66	23,64	5,32	6,31	5,64	85,01	48,33	133,34
	8	5,08	3,66	5,00	15,97	6,57	22,54	7,85	6,71	7,52	125,36	44,08	169,44
	16	10,04	7,66	9,90	16,26	6,78	23,04	7,86	7,00	7,61	127,80	47,46	175,26
5	0	1,17	0,71	0,82	16,46	7,52	23,98	3,33	4,69	3,76	54,81	35,27	90,08
	2	2,40	1,94	1,94	17,74	8,22	25,96	3,13	4,92	3,70	55,53	40,44	95,97
	4	4,02	2,09	3,31	16,58	5,49	22,07	8,86	6,89	8,37	146,90	37,83	184,73
	8	6,28	6,02	5,80	17,41	5,46	22,87	8,27	7,36	8,05	143,98	40,19	184,17
	16	12,80	10,38	11,14	15,72	6,02	21,74	8,94	7,39	8,51	140,54	44,49	185,03
6	0	1,02	0,95	0,71	17,03	6,95	23,98	5,59	8,91	6,55	95,20	61,92	157,12
	2	2,44	2,22	2,00	14,95	6,53	21,48	9,15	8,08	8,82	136,79	52,76	189,55
	4	3,88	3,92	3,22	14,80	5,50	20,30	11,09	10,38	10,90	164,13	57,09	221,22
	8	7,08	6,07	5,29	17,28	7,11	24,39	9,24	7,43	8,71	159,67	52,83	212,50
	16	13,49	12,63	9,93	17,14	5,77	22,91	14,50	10,15	13,40	248,53	58,57	307,10

Teores de Cu no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 5. Teores de Zn disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Zn na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Zn aplicadas (bloco 1)

Solo	Dose	Teor de Zn no Solo			Produção de MS			Teor de Zn na MS			Conteúdo de Zn na MS		
	Zn	M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
		mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso		
1	0	0,52	0,28	0,28	16,04	9,25	25,29	16,97	17,01	16,98	272,2	157,3	429,5
	2,5	2,57	1,96	1,90	14,80	8,13	22,93	26,32	26,36	26,33	389,5	214,3	603,8
	5	4,69	4,13	3,97	13,86	8,50	22,36	33,38	33,17	33,30	462,6	281,9	744,5
	10	8,32	6,99	7,55	16,08	8,02	24,10	50,97	49,53	50,49	819,6	397,2	1216,8
	20	18,00	27,75	15,84	10,44	8,42	18,86	115,21	88,92	103,47	1202,8	748,7	1951,5
2	0	7,71	4,14	2,66	19,32	9,73	29,05	28,10	23,20	26,46	542,9	225,7	768,6
	2,5	9,69	5,62	4,09	18,97	9,89	28,86	25,04	24,53	24,86	475,0	242,6	717,6
	5	10,67	6,55	4,84	17,90	9,79	26,69	27,79	24,71	27,70	497,4	241,9	739,3
	10	16,20	10,34	8,29	19,62	10,15	29,77	31,54	26,76	29,91	618,8	271,6	890,4
	20	28,40	14,88	11,18	18,62	9,90	28,52	39,23	34,14	37,46	730,5	338,0	1068,5
3	0	5,69	3,51	2,54	19,47	10,61	30,08	34,10	26,63	31,46	663,9	282,5	946,4
	2,5	7,57	4,78	3,65	18,71	10,49	29,20	34,42	28,29	32,22	644,0	296,8	940,8
	5	10,10	6,90	5,48	15,41	10,53	25,94	44,22	32,58	39,49	681,4	343,1	1024,5
	10	14,28	9,69	6,93	20,20	9,55	29,75	62,65	36,48	54,25	1265,5	348,4	1613,9
	20	22,17	19,56	15,35	17,92	10,02	27,94	64,09	37,78	54,66	1148,5	378,6	1527,1
4	0	0,57	0,31	0,43	17,70	9,09	26,79	12,22	20,73	15,11	216,3	188,4	404,7
	2,5	2,75	2,20	1,98	15,75	9,30	25,05	17,79	21,54	19,18	280,2	200,3	480,5
	5	5,31	4,29	4,03	17,12	8,91	26,03	27,87	27,74	27,83	477,1	247,2	724,3
	10	8,51	8,06	8,39	16,50	9,25	25,75	45,26	42,35	44,21	746,8	391,7	1138,5
	20	18,63	17,27	18,37	12,31	10,61	22,92	72,54	44,64	59,62	893,0	473,6	1366,6
5	0	1,88	1,24	0,95	13,10	9,19	22,29	20,84	20,41	20,66	273,0	187,6	460,6
	2,5	4,00	3,33	3,02	14,10	8,25	22,35	28,95	24,43	27,28	408,2	201,5	609,7
	5	6,13	4,77	4,26	13,24	8,23	21,47	30,85	27,86	29,71	408,5	229,3	637,8
	10	11,30	9,88	8,12	14,18	9,03	23,21	43,33	30,26	38,24	614,4	273,2	887,6
	20	21,00	21,11	19,41	14,63	8,27	22,90	85,22	50,11	72,54	1246,8	414,4	1661,2
6	0	0,41	0,36	0,29	14,95	9,96	24,91	9,57	15,44	11,92	143,1	153,8	296,9
	2,5	2,60	2,01	1,56	15,19	6,56	21,75	21,36	26,15	22,80	324,5	171,5	496,0
	5	4,55	4,30	3,34	14,99	9,40	24,39	36,06	32,45	34,67	540,5	305,0	845,5
	10	8,53	8,32	6,34	14,80	9,38	24,18	50,70	38,18	45,84	750,4	358,1	1108,5
	20	16,80	17,32	9,12	15,59	8,07	23,66	119,05	70,95	102,65	1856,0	572,6	2428,6

Teores de Cu no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 6. Teores de Zn disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Zn na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Zn aplicadas (bloco 2)

Solo	Dose	Teor de Zn no Solo			Produção de MS			Teor de Zn na MS			Conteúdo de Zn na MS		
	Zn	M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
		mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso		
1	0	0,66	0,32	0,27	17,61	7,23	24,84	10,93	18,00	12,99	192,5	130,1	322,6
	2,5	2,91	2,03	1,77	16,35	6,19	22,54	25,17	26,23	25,46	411,5	162,4	573,9
	5	5,15	4,11	3,22	10,91	5,70	16,61	37,25	40,12	38,24	406,4	228,7	635,1
	10	9,32	8,09	6,72	15,84	7,05	22,89	52,77	46,77	50,92	835,9	329,7	1165,6
	20	18,62	16,65	14,10	13,82	6,22	20,04	121,73	68,57	105,23	1682,3	426,5	2108,8
2	0	7,64	3,79	2,44	21,54	6,97	28,51	25,28	22,36	24,56	544,5	155,8	700,3
	2,5	8,90	4,40	3,36	21,85	7,09	28,94	27,69	23,54	26,67	605,0	166,9	771,9
	5	11,75	5,32	4,40	17,89	8,92	26,81	29,02	23,56	27,21	519,2	210,2	729,4
	10	14,16	8,26	6,06	19,78	8,50	28,28	29,00	25,21	27,86	573,6	214,3	787,9
	20	24,87	14,04	11,37	21,04	7,83	28,87	37,88	33,33	36,65	797,0	261,0	1058,0
3	0	4,97	2,83	4,37	20,04	7,24	27,28	30,55	25,84	29,30	612,2	187,0	799,2
	2,5	6,88	4,40	2,66	21,13	8,44	29,57	33,19	23,29	30,37	701,3	196,6	897,9
	5	9,44	6,09	4,26	18,81	6,43	25,24	36,80	28,88	34,78	692,2	185,7	877,9
	10	12,30	8,04	3,06	17,84	8,12	25,96	54,56	35,15	48,49	973,4	285,4	1258,8
	20	20,80	14,28	6,92	20,23	7,01	27,24	66,66	42,03	60,32	1348,5	294,6	1643,1
4	0	0,54	0,32	0,31	18,09	7,52	25,61	12,12	18,30	13,94	219,3	137,6	356,9
	2,5	2,60	1,98	1,71	17,62	9,21	26,83	17,57	17,86	17,67	309,6	164,5	474,1
	5	4,96	2,43	3,47	17,22	7,12	24,34	33,17	28,15	31,70	571,2	200,4	771,6
	10	8,28	6,82	7,25	17,16	8,29	25,45	42,23	34,20	39,61	724,7	283,5	1008,2
	20	17,65	17,03	14,63	17,34	8,40	25,74	75,31	50,75	67,30	1305,9	426,3	1732,2
5	0	1,77	1,27	0,89	14,80	7,00	21,80	20,90	17,36	19,76	309,3	121,5	430,8
	2,5	4,00	3,10	2,33	15,66	8,78	24,44	17,62	16,82	17,33	275,9	147,7	423,6
	5	6,80	5,40	4,19	13,72	7,16	20,88	36,98	28,15	33,96	507,4	201,6	709,0
	10	10,90	9,41	6,90	16,77	7,61	24,38	39,05	26,41	35,11	654,9	201,0	855,9
	20	18,71	16,02	13,29	15,01	7,83	22,84	70,09	45,41	61,63	1052,1	355,6	1407,7
6	0	0,41	0,31	0,21	17,34	7,97	25,31	8,51	12,82	9,87	147,6	102,2	249,8
	2,5	2,07	1,60	1,20	12,92	7,78	20,70	17,38	20,29	18,47	224,5	157,9	382,4
	5	3,63	3,49	2,62	15,88	7,83	23,71	29,97	26,95	28,97	475,9	211,0	686,9
	10	7,17	5,42	5,15	14,86	6,23	21,09	58,54	38,23	52,54	869,9	238,2	1108,1
	20	15,69	11,07	11,36	14,40	8,58	22,98	99,88	63,62	86,34	1438,3	545,9	1984,2

Teores de Zn no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 7. Teores de Zn disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Zn na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Zn aplicadas (bloco 3)

Solo	Dose	Teor de Zn no Solo			Produção de MS			Teor de Zn na MS			Conteúdo de Zn na MS		
	Zn	M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
		mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso		
1	0	0,62	0,32	0,29	19,52	7,13	26,65	11,12	16,31	12,51	217,1	116,3	333,4
	2,5	2,94	2,34	1,83	15,32	7,42	22,74	20,43	26,40	22,38	313,0	195,9	508,9
	5	4,70	4,34	3,77	14,58	7,13	21,71	38,32	44,32	40,29	558,7	316,0	874,7
	10	9,10	8,50	7,05	13,87	6,02	19,89	60,13	43,22	55,01	834,0	260,2	1094,2
	20	18,96	20,79	12,87	13,62	6,70	20,32	114,58	71,54	100,39	1560,6	479,3	2039,9
2	0	8,98	3,79	2,43	19,40	8,85	28,25	21,68	24,18	22,46	420,6	214,0	634,6
	2,5	9,91	5,21	3,32	18,08	9,84	27,92	22,85	21,65	22,42	413,1	213,0	626,1
	5	12,67	7,13	4,96	17,92	8,93	26,85	24,90	26,41	25,40	446,2	235,8	682,0
	10	16,90	9,37	7,00	20,30	8,48	28,78	26,59	22,34	25,34	539,8	189,4	729,2
	20	26,80	15,13	10,75	18,08	9,51	27,59	42,49	34,49	39,73	768,2	328,0	1096,2
3	0	6,13	3,40	2,30	21,12	8,35	29,47	25,62	21,52	24,46	541,1	179,7	720,8
	2,5	7,88	4,73	3,21	19,20	8,92	28,12	37,95	25,90	34,13	728,6	231,0	959,6
	5	9,84	6,51	4,75	19,82	9,23	29,05	33,34	26,50	31,17	660,8	244,6	905,4
	10	14,76	9,64	12,21	21,23	7,48	28,71	53,22	32,64	47,86	1129,9	244,1	1374,0
	20	25,65	16,69	13,09	16,66	9,43	26,09	70,72	38,57	59,10	1178,2	363,7	1541,9
4	0	0,53	0,26	0,32	20,18	7,35	27,53	9,95	15,23	11,36	200,8	111,9	312,7
	2,5	2,70	1,97	1,74	20,06	6,96	27,02	22,31	18,40	21,30	447,5	128,1	575,6
	5	5,26	4,23	3,56	20,64	6,71	27,35	29,44	24,54	28,24	607,6	164,7	772,3
	10	8,30	7,37	7,00	18,70	7,56	26,26	47,10	31,98	42,75	880,8	241,8	1122,6
	20	18,81	16,34	13,85	19,35	6,84	26,19	76,75	45,57	68,61	1485,1	311,7	1796,8
5	0	1,81	0,95	0,97	17,09	8,23	25,32	13,59	14,89	14,01	232,3	122,5	354,8
	2,5	4,29	2,49	2,30	15,16	8,98	24,14	17,91	18,13	17,99	271,5	162,8	434,3
	5	5,20	4,97	4,13	14,09	7,15	21,24	34,47	21,45	30,09	485,7	153,4	639,1
	10	11,10	7,57	6,84	16,46	7,19	23,65	46,17	32,84	42,12	760,0	236,1	996,1
	20	20,68	17,97	13,57	17,21	6,79	24,00	66,78	44,04	60,35	1149,3	299,0	1448,3
6	0	0,30	0,18	0,21	15,12	8,70	23,82	7,75	12,63	9,53	117,2	109,9	227,1
	2,5	2,40	1,93	1,53	18,42	8,09	26,51	22,70	23,66	22,99	418,1	191,4	609,5
	5	4,21	4,02	2,99	16,63	8,31	24,94	35,86	30,42	34,05	596,4	252,8	849,2
	10	8,77	7,91	6,12	15,71	7,64	23,35	58,80	45,14	54,33	923,7	344,9	1268,6
	20	17,34	4,29	12,49	16,46	7,21	23,67	118,80	63,81	102,05	1955,4	460,1	2415,5

Teores de Zn no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.

Quadro 8. Teores de Zn disponíveis pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA, produção de matéria seca da parte aérea, teor e conteúdo de Zn na matéria seca de mudas de eucalipto cultivadas em amostras de seis solos de Cerrado em função das doses de Zn aplicadas (bloco 4)

Solo	Dose	Teor de Zn no Solo			Produção de MS			Teor de Zn na MS			Conteúdo de Zn na MS		
	Zn	M-1	M-3	DTPA	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total	Basal	Apical	Total
		mg dm ⁻³			g/vaso			mg kg ⁻¹			µg/vaso		
1	0	0,43	0,26	0,26	16,37	6,93	23,30	11,91	22,52	15,07	195,0	156,1	351,1
	2,5	2,49	2,22	1,82	13,52	5,37	18,89	29,34	30,50	29,67	396,7	163,8	560,5
	5	4,64	4,16	3,73	15,64	6,06	21,70	39,02	33,65	37,52	610,3	203,9	814,2
	10	8,54	8,19	7,47	10,94	4,68	15,62	71,54	49,20	64,85	782,6	230,3	1012,9
	20	17,15	16,45	12,38	9,46	6,09	15,55	104,47	67,87	90,14	988,3	413,3	1401,6
2	0	6,91	3,61	2,96	17,00	10,09	27,09	21,94	18,29	20,58	373,0	184,5	557,5
	2,5	9,44	4,82	4,14	16,62	8,90	25,52	26,04	22,17	24,69	432,8	197,3	630,1
	5	7,59	7,22	5,15	17,90	8,52	26,42	29,44	24,17	27,74	527,0	205,9	732,9
	10	17,17	9,23	8,61	16,67	8,13	24,80	26,57	23,56	25,58	442,9	191,5	634,4
	20	33,54	15,48	11,50	16,93	7,60	24,53	36,49	31,15	34,83	617,8	236,7	854,5
3	0	5,37	2,87	2,40	15,81	7,74	23,55	31,85	26,58	30,11	503,5	205,7	709,2
	2,5	7,36	4,12	3,51	18,63	7,95	26,58	26,69	23,67	25,79	497,2	188,2	685,4
	5	9,21	5,91	4,65	17,70	8,44	26,14	31,77	26,26	29,99	562,3	221,6	783,9
	10	13,20	7,61	7,19	17,24	8,11	25,35	44,63	31,33	40,37	769,4	254,1	1023,5
	20	27,15	13,50	12,05	18,64	8,75	27,39	65,59	39,86	57,37	1222,6	348,8	1571,4
4	0	0,46	0,16	0,32	16,15	8,96	25,11	9,07	13,26	10,57	146,5	118,8	265,3
	2,5	2,38	1,27	1,65	16,36	6,77	23,13	19,52	23,01	20,54	319,3	155,8	475,1
	5	4,24	2,98	3,19	15,98	7,66	23,64	18,36	22,52	19,71	293,4	172,5	465,9
	10	8,02	5,03	6,35	16,29	8,06	24,35	34,34	28,28	32,33	559,4	227,9	787,3
	20	19,43	10,37	12,70	13,67	7,85	21,52	59,78	43,14	53,71	817,2	338,6	1155,8
5	0	1,79	1,28	0,98	15,02	8,40	23,42	17,88	17,55	17,76	268,6	147,4	416,0
	2,5	1,80	2,62	2,06	14,51	6,12	20,63	29,99	24,51	28,37	435,2	150,0	585,2
	5	6,51	3,15	3,67	16,58	5,49	22,07	35,79	27,64	33,76	593,4	151,7	745,1
	10	9,63	7,43	6,37	15,08	8,03	23,11	35,37	26,42	32,26	533,4	212,2	745,6
	20	23,38	15,63	12,65	14,96	6,66	21,62	74,67	43,47	65,06	1117,1	289,5	1406,6
6	0	0,27	0,21	0,22	18,35	7,30	25,65	6,75	13,14	8,57	123,9	95,9	219,8
	2,5	2,02	1,87	1,38	15,61	6,19	21,80	21,26	21,86	21,43	331,9	135,3	467,2
	5	3,87	3,62	2,71	14,80	5,50	20,30	37,75	30,20	35,70	558,7	166,1	724,8
	10	7,76	7,41	5,79	17,04	6,79	23,83	54,08	34,49	48,50	921,5	234,2	1155,7
	20	14,99	13,27	10,52	15,61	7,04	22,65	94,21	53,89	81,68	1470,6	379,4	1850,0

Teores de Zn no solo: Mehlich-1 (M-1) Mehlich-3 (M-3). Produção de matéria seca (MS) da parte aérea.