

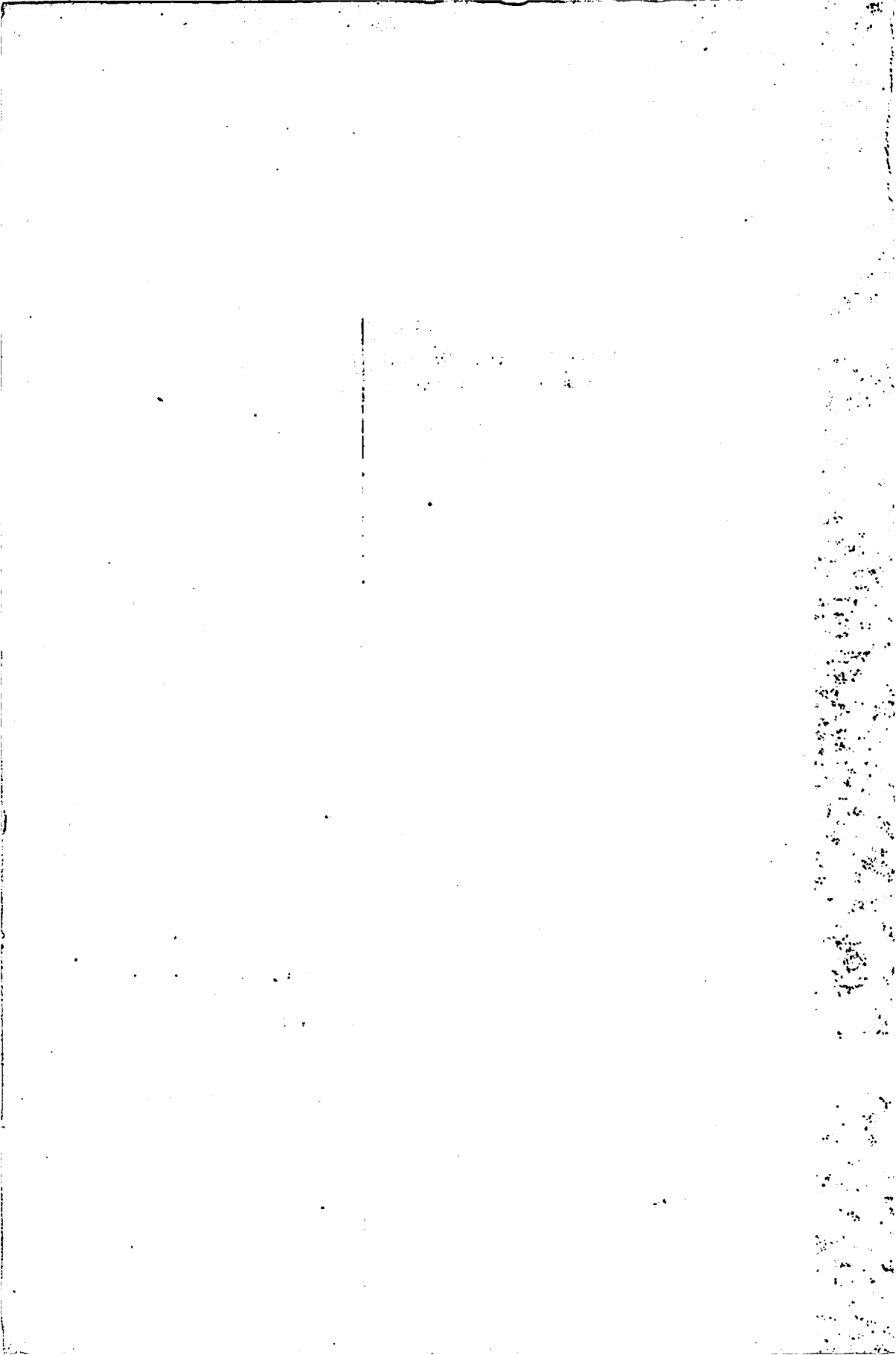


UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**APLICAÇÃO DE ZINCO VIA SOLO EM  
PLANTAS DE CAFEIRO (*Coffea arabica* L.)  
EM CASA DE VEGETAÇÃO**

**CARLOS ALBERTO SPAGGIARI SOUZA**

1999



48091

33-130MFN

**CARLOS ALBERTO SPAGGIARI SOUZA**

**APLICAÇÃO DE ZINCO VIA SOLO EM PLANTAS DE CAFEIEIRO**  
**(*Coffea arabica* L.) EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de "Doutor".

**ORIENTADOR**

Pesq. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

**LAVRAS**

**MINAS GERAIS – BRASIL**

1999

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Souza, Carlos Alberto Spaggiari

Aplicação de zinco via solo em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em casa de vegetação / Carlos Alberto Spaggiari Souza. -- Lavras : UFLA, 1999.  
159 p. : il.

Orientador: Paulo Tácito Gontijo Guimarães.  
Tese (Doutorado) – UFLA.  
Bibliografia.

1. Zinco. 2. Micronutriente. 3. Adubação via solo. 4. *Coffea arabica*. 5. Mundo novo. 6. Catuaí. 7. Icatu. 8. Latossolo Vermelho Amarelo. 9. Latossolo Roxo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73891  
-631.811

**CARLOS ALBERTO SPAGGIARI SOUZA**

**APLICAÇÃO DE ZINCO VIA SOLO EM PLANTAS DE CAFEEIRO  
( *Coffea arabica* L.) EM CASA DE VEGETAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia , para obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 04 de outubro de 1999

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto	UFLA
Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Pesq. Dr. Francisco Dias Nogueira	EMBRAPA/EPAMIG
Pesq. Dra. Miralda Bueno de Paula	EPAMIG

  
Pesq. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

EPAMIG

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

**Ao Engenheiro Agrônomo Alcides Carvalho  
e sua equipe de trabalho pelo muito que fizeram pela  
cafeicultura do Brasil e do Mundo**

## **OFEREÇO**

**À minha querida mãe Beatriz, que por questão de sobrevivência foi excluída muito cedo da escola, mas que não mediu esforços para que seus filhos não o fossem, e também pelos ensinamentos, persistência e exemplo de trabalho.**

**A meu pai Antônio (“in memoriam”), de quem tenho vaga lembrança, pois partiu desse mundo, quando eu era ainda muito pequeno.**

**Aos meus irmãos Cícero, Celso, Celina, Maria Ângela e Antônio, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.**

**Ao meu sogro, sogra, cunhados e sobrinhos.**

**À minha esposa Joseane e aos meus filhos Livia e Renan, pelo irrestrito apoio, carinho e compreensão, principalmente nos momentos em que me dediquei mais aos livros e ao estudo do que a eles.**

**DEDICO**

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**CARLOS ALBERTO SPAGGIARI SOUZA**, filho de Antônio de Souza Pinto e Beatriz Spaggiari da Silva, nasceu em Guaranésia, Estado de Minas Gerais, a 25 de Setembro de 1960.

Concluiu o segundo grau em Guaranésia - MG, na Escola Estadual "Alice Autran Dourado", em 1978.

Em 1979, iniciou o curso de Agronomia na Escola Superior de Agricultura de Lavras, concluindo-o em Julho de 1983.

Trabalhou em atividades particulares na cultura do café até fevereiro de 1984.

Em março de 1984, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, na Escola Superior de Agricultura de Lavras, concluindo-o, em junho de 1987,

Foi contratado como Pesquisador Assistente, em julho de 1987, pelo Centro de Pesquisas do Cacau, da CEPLAC, para desenvolver trabalhos na área de manejo de cultivos tropicais, na Estação Experimental Filogônio Peixoto, em Linhares-ES. Foi chefe da referida Estação no período de Julho de 1991 até março de 1995, e permanece vinculado à mesma, até a presente data.

Em março de 1995, ingressou no Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, na Universidade Federal de Lavras, no cultivo do café, concluindo-o, em outubro de 1999.

Foi Sócio Fundador e Coordenador Geral do NECAF, no período de junho de 1997 até outubro de 1998.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por conceder me o dom da vida e dar força para seguir em frente.

À Universidade Federal de Lavras, responsável pela maior parte da minha formação acadêmica e profissional.

À CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira), através do Centro de Pesquisa do Cacau, pela oportunidade concedida para realizar este curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos Departamentos de Agricultura e Ciência do Solo, pelo apoio recebido e por dar condições para o desenvolvimento do meu trabalho.

Ao Pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães pela orientação, amizade e conhecimentos transmitidos.

Ao Professor Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, meu co-orientador, pelos ensinamentos e valiosas sugestões no decorrer deste trabalho.

Aos Pesquisadores Dr. Francisco Dias Nogueira e Dr<sup>a</sup> Miralda Bueno de Paula pela participação na banca e sugestões a este trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, idealizador do Núcleo de Estudos em Cafeicultura - NECAF, pelos ensinamentos e porque mostrou ser possível a união de grupos multidisciplinares, em prol de um objetivo único, o cultivo do café.

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães pelos ensinamentos, companheirismo e entusiasmo em todos os momentos.

À professora Dra. Janice Guedes de Carvalho, não só pelos ensinamentos transmitidos, como também pelas sugestões, amizade e incentivo durante a realização deste curso.



Aos professores Dr. José Maria de Lima e Moacir de Souza Dias Junior, que permitiram a utilização do Laboratório de Informática, do Departamento de Ciência do Solo.

Ao professor emérito da UFLA, Dr. Alfredo Scheid Lopes, pelo exemplo de trabalho e amor a esta instituição de ensino, por transmitir a sua vasta experiência e mostrar-me que apesar das dificuldades impostas pelo mundo atual, ainda vale a pena ser honesto.

Aos Colegas da CEPLAC/CEPEC/ESFIP, Paulo Roberto Siqueira e Bernardo Conceição, pelo apoio dado durante toda a realização deste curso.

Aos colegas André Barretto Pereira, Benjamim de Melo, Brígida de Souza, Gabriel Ferreira Bartholo, Rodrigo Luz da Cunha, Ataulpa de Andrade Neto. Paulo Roberto Alves de Oliveira, Alexandre Hoffmann, João Almir de Oliveira, Fernando Luiz de Oliveira Corrêa, Givaldo Rocha Niella,, Antônio Rodrigues Fernandes, Haroldo Paiva, Alceu Pedrotti, Marcos Koiti Kondo e Berildo de Melo pelos momentos alegres e “força” nos momentos difíceis.

Aos colegas Luiz Arnaldo Fernandes e Júlio César Bertoni, pelos ensinamentos transmitidos, e acima de tudo pela humildade e prontidão para tirar as dúvidas, durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às Bolsistas Maria Luiza N. Costa, Nair L. de Souza, na fase inicial do trabalho e, em especial à Bolsista do CNPq/BIOEX/UFLA, Cláudia Mara Scheid Lopes que me apoiou principalmente, na fase de tabulação de dados, análise estatística, confecção de tabelas e gráficos e, redação final do trabalho, por conseguir colocar ordem no meu emaranhado de dados e disquetes.

Às secretárias da Pós-graduação Nelzi Aparecida da Silva e Cláudia Ribas de Freitas, pela atenção e apoio durante a realização deste curso.

Aos funcionários da Biblioteca Central da UFLA, principalmente ao Marcinho e José Maria, pelo apoio na parte bibliográfica deste trabalho.

Aos laboratoristas João Gualberto, Roberto Mesquita e Adalberto Ribeiro, do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do DCS/UFLA, pelas análises foliar dos experimentos.

À colega Aparecida de Fátima Vilela, pelo suporte na parte de informática e pelo ótimo relacionamento que tivemos, durante o período que trabalhamos juntos.

À aluna de iniciação científica Dulce Mangini, pela amizade e pela ajuda em certas fases do trabalho, e ao Bolsista do PIBIC/CNPq, Rodrigo Sousa Martins, pelos valiosos ensinamentos na área de informática.

Ao colega Waldo W. Flores-Ayias, pela convivência, amizade, apoio na parte gráfica e na elaboração do seminário final de Tese.

A todos os demais colegas de curso, funcionários e professores da UFLA, com os quais trabalhei que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, cujos nomes não foram citados.

**O MEU MUITO OBRIGADO**

**“Felizes os que seguem os caminhos da vida e nunca se arredam deles”.**

**Machado de Assis**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	5
1 Introdução.....	5
2 Referencial teórico.....	7
2.1 Aspectos gerais.....	7
2.2 Funções do zinco na planta.....	8
2.3 Sintomas da deficiência de zinco no cafeeiro.....	11
2.4 O zinco no solo.....	13
2.5 Fatores que afetam a disponibilidade de zinco.....	16
2.5.1 pH.....	16
2.5.2 Textura.....	19
2.5.3. Teores de óxidos de ferro, alumínio e manganês.....	21
2.5.4 Matéria orgânica.....	23
2.5.5 CTC.....	24
2.5.6 Adubos fosfatados.....	25
2.5.7 Umidade do solo.....	30
2.5.8 Compactação do solo.....	31
2.5.9 Outros fatores.....	32
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
CAPÍTULO 2: Crescimento e nutrição de mudas de cafeeiro. Efeitos de doses de zinco, calcário e da textura do solo.....	50

RESUMO.....	50
ABSTRACT.....	51
1 INTRODUÇÃO.....	52
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1 Amostras de solo.....	53
2.2 Corretivos e material utilizado.....	56
2.3 Delineamento experimental.....	57
2.4 Condução do experimento.....	61
2.5 Características avaliadas.....	62
2.5.1 Análises químicas da matéria seca.....	63
2.5.2 Análises químicas do solo.....	65
2.6 Análise estatística.....	65
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
3.1 Atributos dos solos usados nos experimentos.....	66
3.2 Características de crescimento.....	68
3.2.1 Produção máxima , 90% da máxima e respectivas doses de zinco.....	86
3.3 Acúmulo de zinco na raiz e na folha.....	88
3.4 Nível crítico de zinco no solo.....	91
3.5 Níveis críticos inferior e superior de zinco na planta.....	93
3.6 Índices de eficiência.....	98
4 CONCLUSÕES.....	107
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
CAPÍTULO 3: Efeitos de doses de zinco via solo, em três cultivares de cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	116
RESUMO.....	116
ABSTRACT.....	117
1 INTRODUÇÃO.....	118

<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>119</b>
2.1 Aspectos gerais.....	119
2.2 Delineamento experimental.....	120
2.3 Corretivos e material utilizado.....	120
2.4 Condução do experimento.....	124
2.5 Características avaliadas.....	124
2.6 Análise estatística.....	126
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>126</b>
3.1 Características de crescimento.....	126
3.2 Índices de eficiência.....	135
3.3 Níveis críticos de zinco na planta.....	141
3.4 Relação fósforo / zinco.....	143
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>145</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>150</b>

## RESUMO

SOUZA, Carlos Alberto Spaggiari. Aplicação de zinco via solo em plantas de cafeeiro(*Coffea arabica L.*) em casa de vegetação. Lavras:UFLA, 1999.159p. (Tese de Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)\*

Conduziram-se quatro experimentos em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, objetivando avaliar a resposta do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) à aplicação de doses de Zn, seus efeitos nas características de crescimento, estimar os níveis críticos de Zn nos solos e nas plantas, verificar os índices de eficiência, a interação entre os nutrientes e avaliar o comportamento de três cultivares de cafeeiro às doses de zinco aplicadas. Foram usadas amostras de três solos: Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, um Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa e um Latossolo Roxo textura muito argilosa. Os experimentos foram instalados em DBC, em esquema fatorial, com quatro repetições, divididos em duas etapas; na primeira etapa cada solo foi considerado um experimento, sendo testadas cinco doses de zinco como primeiro fator, diferenciadas para cada solo, e três doses de calcário como segundo fator: dose 0 de calcário, dose 1 e dose 2, sendo as duas últimas baseadas em curvas de incubação para cada solo visando elevar o pH dos mesmos para 5,5 e 6,5, respectivamente. Na segunda etapa foram testadas cinco doses de zinco (0, 5, 10, 20 e 40 mg.dm<sup>-3</sup>), no Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, na faixa de pH 5,5, em três cultivares de cafeeiro (Catuai Vermelho, Mundo Novo e Icatu). Os solos receberam carbonato de cálcio e de magnésio na relação 4:1, de acordo com os valores de pH desejados e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Após incubação por 23 dias antes da repicagem das mudas, os solos foram amostrados e analisados para todos os nutrientes, sendo o zinco determinado pelo extrator DTPA. Na primeira etapa cada parcela foi constituída por um vaso de 4 dm<sup>3</sup>, onde foram cultivadas duas plantas por 180 dias após a repicagem. Na segunda etapa, cada parcela foi constituída por um vaso de 3 dm<sup>3</sup>, onde foram cultivadas duas plantas por 210 dias após a repicagem. Após a colheita dos experimentos determinaram-se a matéria seca e o teor de nutrientes para cada parte da planta. O cafeeiro respondeu em produção de matéria seca e outras características de crescimento à aplicação de Zn e a doses de calcário, com uma distinta potencialidade dos solos segundo as características avaliadas. Os níveis críticos de Zn no solo variaram entre os solos e entre as doses de calcário aplicadas, pelo extrator DTPA. Houve variação dos níveis críticos de Zn na matéria seca da parte aérea entre os solos e as doses de calcário estudadas, como resposta aos tratamentos aplicados, diferenciando-os ainda no coeficiente

de utilização do micronutriente pelas plantas. As cultivares mostraram distinta eficiência no uso do Zn aplicado via solo.

**\*Comitê Orientador:** Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG (Orientador), Antônio Eduardo Furtini Neto - UFLA, Francisco Dias Nogueira - EPAMIG, Antônio Nazareno Guimarães Mendes - UFLA.



## ABSTRACT

SOUZA, Carlos Alberto Spaggiari. Zinc application via soil in coffee plants (*Coffea arabica* L.) in greenhouse. Lavras: UFLA, 1999. 159p. ( Doctorate thesis in Agronomy /Crop Science ).

Four experiments were conducted in greenhouse in the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras , aiming to evaluate the response of the coffee tree ( *Coffea arabica* L.) to the application of doses of Zn, its effects on the soils and plants, verify the indices of efficiency, the interaction among nutrients and evaluate the behavior of three cultivars of coffee tree to the doses of zinc applied. Samples of three were utilized: medium textured, Yellow – Red Latosol , a clayey textured Yellow – Red Latosol and a very clayey textured Red Dusk Latosol. The experiments were set up in RBD , in factorial scheme, with four replications, divided into two steps; in the first step each soil was regarded an experiment , five doses of zinc being tested as the first factor, distinct to each soil and three doses of limestone as the second factor : dose 0 of limestone, dose 1 and dose 2 ,the latter two being based on incubation curves for each soil aiming to raise their pHs to 5.5 and 6.5 , respectively. In the second step were tested five doses of zinc ( 0, 5 , 10 , and 40 mg dm<sup>-3</sup> ) in the, medium textured, Yellow Red Latosol in the pH range 5. 5 and 6.5 , respectively , in three coffee tree cultivars ( Catuaí vermelho, Mundo Novo and Icatu ). The soils were applied calcium and magnesium carbonate at the 4:1 ratio, according to the pH values wished and a basic fertilization with both macro and micronutrients. After incubation for 23 days before the transplanting of the cuttings , the soils were sampled and analysed for all the nutrients, zinc being determined by DTPA extractor. In the first step each plot was made up from a 4 dm<sup>3</sup> pot, where two plants were grown for 180 days after transplanting. In the step, each plot consisted of one 3 dm<sup>3</sup> pot, where two plants were cultivated for 210 days after transplanting. After the collecting of the experiments, dry matter and nutrient content for each part of the plant. The coffee tree responded in dry matter yield and other growth characteristics to zinc application and doses of limestone with a distinct potentiality of the soils according to the characteristics evaluated . The critical levels of soil Zn ranged among the soils and among the doses of limestone applied by DTPA extractor. There was a variation of the critical levels of Zn in the dry matter of the aerial part among the soils and the doses of limestone investigated as a response to the treatments applied, distinguishing them in the utilization coefficient of the micronutrient by plants. The cultivars showed distinct efficiency in he use of Zn applied via soil.

**Guidance Committee. Paulo Tácito Gontijo Guimarães- EPAMIG ( Adviser ),  
Antônio Eduardo Furtini Neto – UFLA, Francisco Dias Nogueira - EPAMIG ,  
Antônio Nazareno Guimarães Mendes – UFLA.**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O café é a cultura perene que mais se desenvolveu nas regiões tropicais, produzindo riquezas, gerando empregos, fixando o homem ao campo e contribuindo de forma decisiva para elevar o nível social das populações rurais.

A comercialização mundial do café movimenta uma considerável quantia de recursos financeiros, fazendo com que este comércio se situe em segundo lugar internacionalmente, superado apenas pelo petróleo. Este agronegócio, a nível mundial está estimado em 35 bilhões de dólares por ano. No Brasil, o agronegócio café gera mais de três bilhões de dólares por ano, envolvendo uma complexa cadeia que vai desde a indústria de insumos até o uso do coador de papel pelo consumidor final (Mendes, 1996).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e, apesar de ter diminuído temporariamente a sua participação no total exportado, este cultivo ainda continua sendo de fundamental importância para a economia brasileira. Em 1997, o café representou 5,84 % das exportações brasileiras, ou seja, 3,093 bilhões de dólares de um total de 52,986 bilhões de dólares exportados pelo Brasil no referido ano (Anuário Estatístico do Café, 1998).

No Brasil, Mendes (1996) afirma que existem 10 milhões de pessoas envolvidas direta ou indiretamente no complexo agroindustrial do café, atividade desenvolvida em pelo menos 1700 municípios brasileiros onde atuam cerca de 450 empresas com registro de exportação e 1300 indústrias de torrefação e moagem.

Para o Estado de Minas Gerais, que responde por mais de 50% da produção nacional, o cultivo do cafeeiro apresenta enorme importância, tanto econômica quanto social. Num estudo realizado pela FAEMG (1996) mostra que os cafezais ocupam, em média, 15,4% da área das propriedades produtoras de café no referido Estado, mas esta atividade responde por 76,4% das receitas

destas. E mais especificamente para o Sul de Minas, que produz em torno de 25% do café nacional, ou 50% da produção total do Estado, a cafeicultura é de vital importância para a economia desta região, uma vez que a maioria dos municípios que a compõem tem sua economia baseada no agronegócio do café, que pode ser considerada como um fator de desenvolvimento regional. Nessa região encontra-se a maior concentração de cooperativas de cafeicultores do Brasil, bem como a melhor estrutura referente à assistência técnica, beneficiamento, armazenamento e comercialização do produto (Silva, 1998).

Até a década de 60, os cafezais brasileiros eram implantados em áreas ocupadas por matas de média a alta fertilidade. A partir daí, com a diminuição e também proibição do uso das áreas sob floresta natural e o alto custo das terras mais férteis, as áreas com cafeeiros expandiram para solos com menor fertilidade, onde os problemas nutricionais começaram a aparecer (Guimarães e Lopes, 1986).

É de conhecimento geral que para o desenvolvimento normal das plantas e obtenção de altas produtividades, os nutrientes devem estar disponíveis no momento certo no solo. O excesso ou deficiência destes podem provocar desequilíbrios nutricionais, acarretando prejuízos ao desenvolvimento e à produtividade do cafeeiro.

Os micronutrientes são elementos exigidos pelo cafeeiro em pequenas quantidades para a produtividade ótima da cultura, isto, porém, não significa que a sua importância para essa planta seja menor que a dos macronutrientes, pois na ausência de nitrogênio, que é o nutriente mais exigido como do molibdênio, que é o menos exigido, a produção fica seriamente comprometida. Tal fato se fundamenta nos critérios de essencialidade dos nutrientes e na Lei do Mínimo, em que a produção é diretamente proporcional ao nutriente que se encontra em menor quantidade à disposição da planta.

Vários aspectos são considerados importantes quando se trata do uso de micronutrientes na cultura do cafeeiro. Dentre eles, podemos citar: a) A incorporação ao processo produtivo, de solos com fertilidade marginal, principalmente os solos originalmente sob vegetação de cerrado, onde a deficiência de micronutrientes é generalizada, principalmente boro e zinco; b) O aumento de produtividade pelo uso de cultivares com alto potencial produtivo e alta demanda de nutrientes; c) O uso de fertilizantes NPK mais concentrados, que contêm muito pouco ou nada de micronutrientes na sua composição; d) O esgotamento da reserva de micronutrientes do solo após anos de cultivo mais intensivo, sem a devida reposição (Lopes, 1984).

O zinco é um dos micronutrientes mais importantes, em nossa região, para a nutrição do cafeeiro. Silva (1979) obteve um incremento da ordem de 82% na produção desta cultura, simplesmente pela correção da deficiência de zinco, através da aplicação foliar com sulfato de zinco. Esses efeitos do zinco sobre a produção do cafeeiro foram confirmados posteriormente por Guimarães et al. (1983); Malavolta, Carvalho e Guimarães (1983); Fávoro (1992) e Melo (1997).

No entanto, quando este micronutriente é fornecido via solo, apresenta problemas, em particular naqueles de textura argilosa, necessitando de constantes pulverizações na lavoura, o que dificulta sua aplicação e onera os custos de produção. Estas dificuldades são mais acentuadas em lavouras plantadas em áreas declivosas e/ou em plantios adensados.

Diante da necessidade de conhecer as limitações e perspectivas da utilização racional do zinco via solo na cultura do cafeeiro, o presente estudo objetivou:

- a) avaliar a resposta do cafeeiro, na fase de mudas, à aplicação de doses de zinco em três Latossolos com diferentes texturas e sob três doses de calcário;

- b) determinar os níveis críticos do micronutriente nos solos e na planta;**
- c) Avaliar diferença entre as Cultivares de *Coffea arabica* L., mais plantadas no Brasil, na absorção e utilização de zinco via solo.**

## **CAPÍTULO I**

# **O NUTRIENTE ZINCO: CARACTERÍSTICAS, ESSENCIALIDADE E PRINCIPAIS FATORES QUE AFETAM A SUA DISPONIBILIDADE PARA AS PLANTAS**

### **1 INTRODUÇÃO**

O aumento da competição internacional, diante de um mercado livre para o café, e a globalização da economia, estão exigindo do cafeicultor brasileiro maior eficiência para manter-se na atividade. As margens de lucro estão cada vez menores, daí a necessidade de baixar os custos de produção para permanecer no mercado. A competitividade pode ser alcançada pelo aumento de produtividade dos cafezais cultivados adequadamente, dentro da mais moderna tecnologia.

Dentro desse contexto, a nutrição correta da planta é uma das mais importantes práticas para aumentar a produtividade dos cafezais. Não é necessário apenas aumentar o consumo de fertilizantes e corretivos, mas também utilizá-los da maneira mais adequada possível, o que irá refletir em aumentos sensíveis de produtividade e nos lucros do agricultor (Lopes, 1996).

O adensamento dos cafezais, sobretudo em áreas não mecanizáveis e irrigadas, tem sido também uma estratégia do cafeicultor para aumentar a sua produtividade e reduzir os custos de produção (Matiello, 1995 e Nacif, 1997). No entanto, com o adensamento, o uso de adubações foliares no cultivo do cafeeiro para corrigir as deficiências de zinco e boro, que são os micronutrientes limitantes em várias regiões produtoras de café, tem encontrado uma certa limitação: ou se adota o uso de pulverizadores tipo canhão de longo alcance, ou então fazem-se todas as aplicações com pulverizadores costais, manuais ou motorizados. Ambos apresentam algumas desvantagens; o primeiro é muito caro

e exige tratores mais potentes para tracioná-los, além de não fazer uma aplicação muito eficiente, e a segunda opção encontra uma das maiores dificuldades com que o cafeicultor se depara, ou seja, a escassez e o alto custo da mão-de-obra rural. Isto sem levar em consideração a dificuldade de realizar pulverizações em regiões montanhosas e a necessidade de mais de duas aplicações anuais para que haja a correção das deficiências.

Uma vez resolvido o problema da correção da deficiência de boro via solo, que é técnica e economicamente viável, uma das grandes contribuições que a pesquisa cafeeira poderia proporcionar aos cafeicultores é a possibilidade de também corrigir a deficiência de zinco via solo.

No entanto, a aplicação de zinco via solo ainda não é uma prática tecnicamente recomendada na cafeicultura brasileira, pois a maioria dos trabalhos só têm encontrado respostas positivas em solos de textura média a arenosa (Malavolta, 1993), ao contrário de outros cultivos, em que o suprimento do zinco tem sido satisfatoriamente realizado via solo.

O presente capítulo deste trabalho tem como objetivo caracterizar o micronutriente zinco, falar sucintamente sobre a sua essencialidade, sintomas da deficiência no cafeeiro e descrever as principais barreiras que impedem a obtenção de respostas ao usar a aplicação de zinco via solo neste cultivo. Acredita-se que não somente a textura do solo, mas sim vários outros fatores, tais como pH, aplicação de adubos fosfatados em demasia, CTC, umidade, teor de matéria orgânica, grau de compactação do solo, a fonte e a dose de zinco mais adequada, a época de aplicação e também o próprio cultivo do cafeeiro, sejam responsáveis pela baixa resposta à aplicação de zinco via solo.



## 2 Referencial Teórico

### 2.1 Aspectos Gerais:

O zinco é um micronutriente catiônico, divalente, pertencente ao grupo II B da tabela periódica; possui número atômico 30 e massa atômica 65,39g e compreende 5 formas naturais de isótopos, com massas atômicas 64, 66, 67, 68 e 70. A base formada com o zinco é fraca. O Zn possui raio iônico igual a 0,74 Å e, em 63 % dos casos, está em ligação iônica com o oxigênio. Na tabela periódica está próximo aos elementos cobre, ferro e manganês, todos apresentando raios iônicos semelhantes (Souza e Ferreira, 1991). Existem nove isótopos radioativos, mas apenas o <sup>65</sup>Zn é usado em estudos biológicos, apresentando uma meia vida de 245 dias (Malavolta, 1980).

O zinco é um elemento essencial ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Epstein, 1975) e de animais (Ferreira e Cruz, 1991), sendo um dos primeiros micronutrientes a terem a sua essencialidade reconhecida.

Sua deficiência foi constatada, pela primeira vez em cafeeiros do Brasil, por Franco e Mendes (1954) no ano de 1953, e atualmente é um dos nutrientes mais limitantes à produção do café no Brasil (Fávaro, 1992; Melo, 1997). A carência de Zn é bastante comum nos solos onde-se planta o cafeeiro, como os solos de cerrado, lixiviados ou sujeitos à erosão (Malavolta, 1986). No Brasil, a deficiência de Zn tem sido observada nos mais diversos tipos de solos. Malavolta (1996) descreve que ocorre deficiência de zinco em todos os solos brasileiros. A deficiência pode se manifestar através de sintomas moderados até a forma mais intensa, quando a planta tem seu crescimento e produção seriamente comprometidos. Em solução nutritiva, ao estudar efeitos da deficiência de zinco na cafeeiro, Malavolta, Haag e Johnson (1960) obtiveram sintomas da falta deste micronutriente no cultivo, em condições controladas.

## 2.2 FUNÇÕES DO ZINCO NA PLANTA

Embora não apresente função estrutural, o zinco participa como ativador de várias enzimas como as desidrogenases, proteínases, peptidases e fosfohidrolases (Dechen, Haag e Carmello, 1991). Isto implica em dizer que o zinco está relacionado ao metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos. O seu envolvimento com a síntese de auxinas é conhecido desde 1948, conforme relatado por Tsui (1948). O zinco é essencial para a síntese do triptofano, pois é o ativador da enzima sintetase do triptofano (Hewitt e Smith, 1975 e Manual Internacional de Fertilidade do Solo, 1998) e este aminoácido é precursor do AIA (Ácido Indol Acético). O baixo nível de AIA em plantas deficientes em zinco pode ser resultado da alta atividade da AIA-Oxidase (Faquin, 1994). As auxinas são fitohormônios ou reguladores de crescimento, responsáveis pelo aumento no tamanho (alongação) e multiplicação celular. Malavolta, Boaretto e Paulino (1991) relatam que o Zn estimula o crescimento e a frutificação, ressaltando a sua importância na formação e qualidade do produto.

As plantas carentes em zinco apresentam grande diminuição na quantidade de RNA, o que irá resultar em menor síntese de proteínas e dificuldade na divisão celular. A deficiência de zinco inibe a enzima RNase, responsável pela hidrólise do RNA (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). O zinco está diretamente envolvido no metabolismo nitrogenado da planta. Nas plantas deficientes, há redução da síntese protéica e acúmulo de aminoácidos e amidas (Faquin, 1994). O zinco também é importante na redução do nitrato, pois nas plantas deficientes há acúmulo de  $N-NO_3$  e diminuição da síntese de aminoácidos (Malavolta, Vitti e Oliveira 1997). Há fortes indícios de que o zinco seja requerido para a biossíntese de clorofila (Taiz e Zeiger, 1991; FERTIZA, 1996 e Manual Internacional de Fertilidade do Solo, 1998), o que explicaria a clorose que ocorre em plantas deficientes.

Segundo Marschner (1995), as plantas equilibradas nutricionalmente apresentam maior resistência ao ataque de fungos e pragas como resultado de barreiras bioquímicas ou morfológicas. Sob esse aspecto, a deficiência de zinco induz esterilidade do grão de pólen no trigo e inibe a sexualidade no milho (Sharma et al. 1990). A podridão das raízes de cereais causada por *Rhizoctonia* é inversamente proporcional ao teor de zinco nas plantas (Thongbai et al. 1993).

Existem evidências de que o zinco tem influência na permeabilidade de membranas e é estabilizador de componentes celulares (Dechen, Haag e Carmello 1991). Loneragan et al. (1982), Welch, Webb e Loneragan (1982) e Pinton, Cakmak e Marschner (1993) constataram que o Zn desempenha um importante papel na manutenção da integridade e seletividade das membranas da raiz. Na sua deficiência, a permeabilidade da plasmalema das células das raízes é aumentada para o P, sendo apontada como uma das justificativas mais prováveis para a ocorrência de deficiência de zinco induzida por fósforo na planta.

Outras funções como promoção da síntese do Citocromo C, formação de amido, metabolismo de fenóis, parede do xilema e estabilização dos ribossomos são apresentadas por Malavolta, Boaretto e Paulino (1991). O zinco é classificado como elemento parcialmente móvel na planta (Bukovac e Witter, 1957 ; Malavolta, 1960 citado por Malavolta, 1986). No entanto, Fávoro (1992) encontrou, em sua dissertação de Mestrado, uma baixíssima mobilidade, ou mesmo imobilidade do zinco quando aplicado a uma folha madura, em direção a outras folhas, surgidas posteriormente. As folhas do terceiro par que receberam a pulverização possuíam elevados teores de zinco, ao passo que as folhas adjacentes surgidas após a aplicação, no mesmo ramo, apresentavam baixos teores de zinco. Isto implica em dizer que não ocorreu translocação do zinco após ele ter sido absorvido por uma determinada folha, pelo menos até o tempo de 60 dias após a aplicação, o que implica em dizer que este nutriente apresenta pequeno transporte no floema de plantas de cafeeiro. Thorne (1957) relata que o

zinco, o ferro e o cálcio não são redistribuídos de folhas velhas para as mais jovens durante o crescimento, o que corrobora Pereira, Crafts e Yamaguchi. (1963) que ao estudarem a translocação de vários compostos em cafeeiros, concluíram que o <sup>65</sup> Zn move em menor proporção no cafeeiro do que em outras plantas.

A imobilidade do zinco aplicado às folhas de cafeeiros deve estar relacionada ao pequeno transporte desse mineral no floema ou à forma com que o mineral se encontra no tecido vegetal. Clarkson e Hanson (1980) citam que a baixa mobilidade do zinco pode estar relacionada à sua pequena capacidade de ligação a quelatos aniônicos. Assim, o zinco aplicado via foliar, utilizando-se o sulfato de zinco, provavelmente deve permanecer nas folhas na forma de íons livres, o que dificultaria o seu transporte.

Ferrandon e Chamel (1988) encontraram maior mobilidade do zinco quando aplicado na forma de Zn-EDTA, o que nos leva a pensar que o EDTA exerce a função de um carreador natural, como é o citrato para o ferro. Resultados semelhantes foram obtidos por Malavolta et al. (1995) ao estudarem a absorção de sais e quelatos de zinco, marcados com radiozinco, e por Malavolta et al. (1996) ao estudarem a absorção radicular de sais e quelatos de zinco, marcados com zinco radioativo, na nutrição mineral do cafeeiro, em solução nutritiva. A maior absorção do zinco na forma de quelato é porque este nutriente está protegido de reações de precipitação e de competição iônica, que podem ocorrer na solução nutritiva e mais ainda no solo (Malavolta et al., 1996).

Como resultado de sua importância para tecidos novos e em expansão e dada a sua pequena mobilidade, ou mesmo imobilidade no cafeeiro, o zinco deve estar disponível durante todo o ciclo da planta, razão pela qual deveria ser fornecido pela raiz, uma vez que a aplicação foliar apresenta efeito residual limitado, necessitando de mais de duas aplicações por ano.

## 2.3 SINTOMAS DA DEFICIÊNCIA DE ZINCO NO CAFEIEIRO

Por ser um nutriente pouco móvel no floema, os sintomas de deficiência são mais visíveis nas folhas novas, que se tornam menores com as nervuras formando uma “rede verde” sobre um tecido amarelado; geralmente há uma faixa estreita de tecido verde de ambos os lados da nervura principal. Quando a deficiência se agrava, as folhas, além de serem menores, são coriáceas e quebradiças. Os internódios das extremidades do ramo ficam menores e, como consequência, um conjunto de folhas pequenas e deformadas aparece na ponta dos galhos. A esse conjunto de folhas pequenas e deformadas dá-se o nome de roseta. O número de folhas da planta é menor devido à queda das que se encontram com sintomas mais intensos, e ocorre também morte das pontas de ramos e ponteiros, dando o chamado “cinturamento do cafeeiro” ou “pescoço pelado”, que é típico dessa deficiência. Os frutos são menores e ocorrem em menor quantidade. Em anos de alta produção, há um depauperamento generalizado da planta. (Instituto Brasileiro do Café, 1986; e Malavolta, 1986 e Matiello, 1997) e em casos extremos a planta morre (Muller, 1959).

Na Figura 1, encontra-se uma planta com sintomas intensos de deficiência de zinco no cafeeiro. Os sintomas da deficiência são irreversíveis; mesmo após a correção é possível verificar que em determinada época a planta apresentou deficiência de zinco. No período seco é mais comum a planta apresentar deficiência, mesmo com o suprimento adequado de zinco no solo. Isto ocorre devido à falta de água, fundamental para que ocorra a difusão. Se a deficiência é severa, não há outra alternativa para o cafeicultor senão podar essas plantas, pois estas ficam deformadas e impossibilitadas de apresentar todo o seu potencial produtivo.

Após uma poda, de maneira geral a deficiência se acentua, nas brotações novas, quando as folhas dobram-se ao longo da nervura principal e as margens

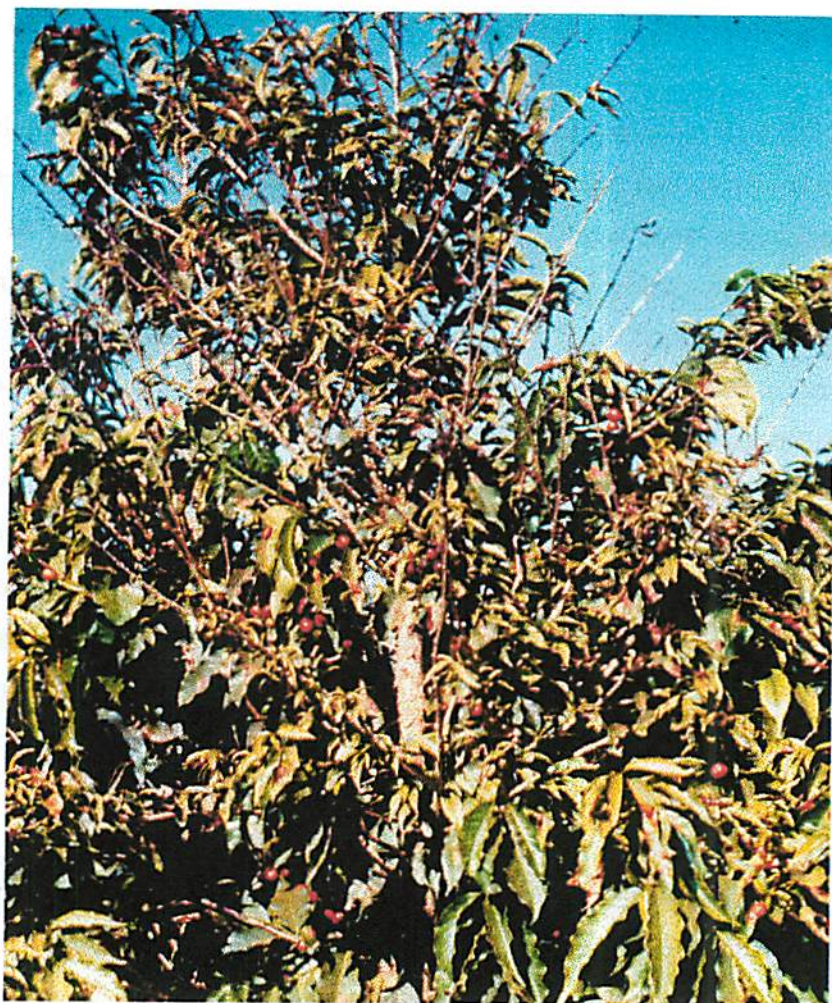


Figura 1. Vista parcial de uma planta de cafeeiro no campo apresentando deficiência de zinco.

ficam amareladas (Malavolta, 1986). Caso não haja a correção da deficiência em tempo hábil, a formação da parte aérea da planta podada fica comprometida. A explicação mais aceitável para esta ocorrência generalizada de deficiência de zinco após a poda é a intensa morte de raízes que ocorre com esta prática,

diminuindo-se o volume de solo explorado pelo sistema radicular. Como a concentração de zinco na solução do solo é muito baixa, da ordem de  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  M, e esse nutriente se move no solo por difusão, ou seja, a distâncias muito curtas, o menor volume de raízes implica em menor quantidade de zinco absorvida, resultando na deficiência.

## 2.4 O ZINCO NO SOLO

O zinco pode ocorrer no solo como cátion dissolvido na solução, como íon prontamente trocável e adsorvido às cargas negativas de origem orgânica ou inorgânica; e na forma de quelato com ligantes orgânicos ou organominerais, oclusos em óxidos de ferro ou de alumínio e ligados à rede cristalina de minerais silicatados primários ou secundários (Siqueira, 1998), ou precipitado em compostos pouco solúveis (Lindsay, 1991; Kalbasi, Racz e Loewen-Rudgers, 1978; Iyengar, Martins e Müller, 1981).

A forma de zinco predominantemente absorvida pelas raízes é a  $Zn^{+2}$ , podendo ser também na forma de Zn-quelato, no entanto para alguns autores, a forma em que o zinco é absorvido pelas raízes necessita de maiores esclarecimentos (Dechen, Haag e Carmello, 1991).

A hipótese de que a absorção radicular do  $Zn^{+2}$  é na forma ativa é a mais aceitável, embora nas raízes aproximadamente 90 % do elemento ocorram em sítios de troca ou adsorvidos nas paredes das células do parênquima cortical. A absorção foliar também é ativa (Malavolta, Vitti e Oliveira 1997). Ainda segundo esses mesmos autores, o cobre, o ferro e o manganês inibem a absorção de zinco. O boro parece estimular a absorção radicular, mas quando colocados numa mesma solução diminui a absorção foliar. Faquin (1994) relata que a presença de cobre e boro reduz em 50% a absorção de zinco aplicado às folhas do cafeeiro; no caso do cobre, trata-se de inibição competitiva, que pode ser

corrigida aumentando a concentração de zinco na solução em pelo menos 50%. No caso do boro, entretanto, a inibição é não competitiva.

Segundo Tisdale, Nelson e Beaton (1985), o teor de zinco na litosfera é estimado em aproximadamente  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ , variando numa faixa de 10 a  $300 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esta grande amplitude de variação é decorrente da rocha matriz e dos minerais que a constituem. A maior parte do zinco dos solos encontra-se na estrutura cristalina de minerais. Conforme Slater (1964), Krauskopf (1972), Fassbender (1984) e Besoain (1985), os principais minerais de zinco são esfarelita (sulfeto), smithsonita (carbonato), willemita, hemimorfita (silicato), zincita, franklinita, wurtzita, voltaíta, hidrozincita e gahnita. Nos solos brasileiros encontram-se as seguintes faixas de variação: Zn total: (10 a  $250 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e solúvel: ( $1 \text{ a } 50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em ácido clorídrico diluído (Malavolta, 1980). Lopes (1977), num extenso estudo de características dos solos de cerrado, encontrou uma amplitude de variação de  $0,2 \text{ a } 2,15 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn pelo extrator Mehlich 1, com um valor médio de  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ . A deficiência quase generalizada de zinco em tais solos tem sido associada, em geral, à pobreza do material de origem. A deficiência de zinco no Brasil, em várias culturas, sugere que as reservas desse nutriente são pequenas na maioria dos solos ou que a disponibilidade é baixa, ou então que ambas as situações ocorrem simultaneamente (Faquin, 1994). A presença do zinco no solo não implica diretamente na sua disponibilidade para as plantas, pois esta disponibilidade depende de vários fatores como, por exemplo, o pH, a textura do solo e a difusão (Malavolta, 1980).

O zinco não sofre reações de volatilização e se movimenta muito pouco por lixiviação, mesmo na presença de intenso regime pluviométrico. Sua concentração na solução do solo é geralmente controlada pelas reações de adsorção e a sua principal forma de transporte até as raízes é a difusão (Oliver e Barber, 1966 e 1968). Halstead et al. (1968), Wilkinson (1972), Sharma e Deb



(1987) e Oliveira (1998) e Oliveira et al. (1999) confirmaram ser a difusão o principal mecanismo, mostrando que a transpiração, e conseqüentemente o fluxo de massa, não influenciaram ou influenciaram muito pouco a quantidade de zinco translocada até a raiz. Em dois solos com 10,3 e 14% de argila e pH 8,4 e 8,5, Sharma e Deb (1987) registraram uma contribuição do mecanismo de transporte até a raiz, para o trigo de 9,8 e 18,5% pelo fluxo de massa e de 81,5 e 90,2% pela difusão, respectivamente. Apesar de ser um micronutriente pouco móvel no solo, a erosão, no entanto, pode causar deficiência de zinco pela retirada da matéria orgânica e resíduos vegetais que contêm uma quantidade significativa do Zn do solo.

A planta absorve uma pequena quantidade do zinco aplicado ao solo, na forma de fertilizante, pois a maior parte é adsorvida ao solo ou se apresenta na forma de quelatos estáveis (Alvarez, Obrador e Rico, 1996).

A adsorção do zinco pelo solo tem sido considerada o principal fator responsável pela redução da sua disponibilidade para as plantas (Bar-yosef, 1975; Shuman, 1975 e 1979). Tal adsorção é dependente de fatores tais como o pH (Lindsay, 1991; Couto, 1992; Consolini, 1998; Siqueira, 1998 e Oliveira et al., 1999); CTC (Kuo e Baker, 1980; Siqueira, 1998); teor de matéria orgânica (Stevenson e Ardakani, 1972; Siqueira, 1998); teores de óxidos de Ferro, Alumínio e Manganês (Kalbasi, Racz e Loewen-Rudgers, 1978; Muniz, 1995) e também pela textura do solo, uma vez que o zinco é mais adsorvido pelos solos mais argilosos do que pelos arenosos, evidenciando o efeito do número de sítios de adsorção (Shumam, 1976 ; Shukla e Mittal, 1979; Couto et al., 1992 e Oliveira et al., 1999). Outros fatores, tais como adubação fosfatada, umidade, compactação do solo, irrigação e fonte de zinco afetam também a disponibilidade de zinco para as plantas.

## 2.5 FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DE ZINCO

A disponibilidade de um nutriente é a quantidade do mesmo que pode ser absorvida pelas raízes e metabolizada pela planta durante o ciclo do cultivo. De forma mais prática, pode ser definida como a quantidade do nutriente recuperada do solo, por um método de extração, que se correlaciona bem com o seu conteúdo na planta (Alvarez V. et al., 1988 e Alvarez V. 1996). A seguir, discutir-se-ão os fatores mais importantes que afetam a disponibilidade de zinco no solo.

### 2.5.1 pH

Quanto ao pH, há que se considerar dois tipos: um é o pH do solo, medido em água (relação 1:2,5) ou em cloreto de cálcio, como é determinado no Estado de São Paulo. Esse pH é fornecido pelos Laboratórios de Fertilidade nas análises de rotina. O outro é o pH da rizosfera, que está restrito a poucos milímetros das raízes encarregadas da absorção de água e nutrientes. Este é de extrema importância, pois pode variar em diferença de mm e interfere na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas raízes. Os fatores da planta responsáveis pela mudança do pH da rizosfera são a liberação e reabsorção de  $H^+$  ou de  $HCO_3^-$ , respiração pelas raízes e liberação de exsudados de baixo peso molecular (ácidos orgânicos, aminoácidos, açúcares, fenóis, etc).

Maiores mudanças no pH da rizosfera são atribuídas, primeiramente, à relação entre a absorção de cátions e ânions (Nye, 1968). Muita atenção tem sido dada aos fertilizantes nitrogenados, uma vez que o nitrogênio normalmente é o nutriente mais absorvido pela planta. Se a forma de nitrogênio absorvida for o nitrato, as plantas absorvem mais ânions do que cátions, resultando em maior liberação de  $HCO_3^-$  e em valores de pH da rizosfera mais altos que o pH do solo não rizosférico. Por outro lado, já se observaram até mesmo valores de pH

rizosférico 2,4 unidades menores que no solo não rizosférico quando a forma de nitrogênio predominante absorvida pela planta é o  $\text{NH}_4^+$  (Hedley, Nye e White, 1982).

Souza (1996), ao estudar o efeito do pH da rizosfera de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, encontrou que o conteúdo de zinco, principalmente no sistema radicular, aumentou com o crescimento da planta, de modo mais intenso 40 dias após emergência. Nesse período o processo de acidificação da rizosfera, proporcionado pela intensificação da fixação do nitrogênio, no início da floração, tornou-se mais ativo.

Normalmente, a maioria dos trabalhos que estudam o pH e a disponibilidade de nutrientes referem-se ao pH do solo e não ao da rizosfera. Uma vez que este segundo é determinado com o uso de microeletrodos e são poucos os laboratórios no Brasil que conseguem determiná-lo. Nesta tese far-se-á menção apenas ao pH do solo e não ao da rizosfera, pois apesar da importância do segundo, não foi possível medi-lo nas condições do referido experimento.

Malavolta (1976) afirma que geralmente o zinco é mais disponível para as plantas em pH ácido do que em solos alcalinos, e que a falta de zinco em solos ácidos indica teores muito baixos do elemento no material de origem. A adubação nitrogenada, dependendo da forma em que o nitrogênio se encontra, pode provocar alterações no pH e aumentar ou diminuir a absorção de zinco. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o processo de absorção radicular é favorecido por um pH do meio em torno de 6 e diminui muito quando o pH está perto de 3.

A solubilidade do zinco no solo é fortemente dependente do pH, decrescendo cem vezes para cada aumento de uma unidade no pH (Lindsay, 1979). Segundo Malavolta (1996), a concentração de zinco no solo pode diminuir 30 vezes, para cada aumento de uma unidade no pH, quando esse se

encontra entre 5 e 7. Valor semelhante é descrito por Moraghan e Mascagni Jr. (1991), na faixa de pH 5,5 a 7,0. Esses autores afirmam que a concentração de equilíbrio do zinco diminui 30 a 40 vezes com o aumento de cada unidade de pH Assim, Santos (1971); Galvão e Mesquita Filho (1981), Yengar et al. (1981) e Couto et al., (1992) obtiveram correlação inversa entre o zinco absorvido pela planta e o pH do solo. Isso pode ser devido à hidrólise parcial do zinco, em pH elevado, formando  $ZnOH^+$ , que na forma monovalente é adsorvido com maior energia que o  $Zn^{2+}$  (Elgabaly, 1950 ; Bar-yosef, 1979 e Marschner, 1986) por possuir menor raio hidratado, não sendo, portanto, deslocado por soluções salinas não tamponadas (Elgabaly, 1950).

Ao elevar ainda mais o pH, completa-se a hidrólise do zinco formando o  $Zn(OH)_2$  e  $ZnCO_3$  (Lindsay, 1991), que se precipitam e ficam dependentes de mecanismos de solubilidade para voltarem à condição de zinco disponível. Quanto maior é o pH, maior é a quantidade de cargas negativas geradas, sendo também maior a adsorção de zinco pelo solo (Marschner, 1995). Deve-se salientar que nem todos os solos com pH alcalino apresentam problemas de deficiência de zinco, uma vez que pode ocorrer a quelatação do zinco por substâncias orgânicas, compensando, dessa forma, sua baixa solubilidade nessas condições.

A difusão de zinco em solos calcários pode ser muito menor do que em solos ácidos, e a calagem em doses muito elevadas nos solos ácidos pode levar a um decréscimo no coeficiente de difusão semelhante ao encontrado em solos calcários.

Machado e Pavan (1987), estudando a adsorção de zinco em solos do Estado do Paraná, verificaram que aumentando o valor de pH, diminuía a solubilidade do zinco, mas aumentava a capacidade máxima de adsorção e a energia de ligação entre o íon e o solo. Os autores obtiveram uma correlação significativa entre a capacidade de adsorção e o pH da solução de equilíbrio

( $r = 0,96^{**}$ ), e isso foi explicado pela menor competição do  $H^+$  pelos sítios de troca, bem como pelo aumento das cargas negativas dependentes de pH.

Wear (1956), trabalhando com doses de  $CaCO_3$ ,  $Na_2CO_3$  e  $CaSO_4$  como corretivos de solo e utilizando sorgo, verificou que os dois primeiros corretivos elevaram o pH do solo e reduziram a absorção de zinco pelas plantas. A adição de  $CaSO_4$  aumentou a absorção de zinco pelas plantas. Esses resultados levaram o autor a concluir que o pH era mais importante que o cálcio na disponibilidade de zinco.

Consolini (1998) encontrou que a inclusão de atributos do solo como o pH, tornou possível a obtenção de equações para estimar o teor de zinco na planta, a partir de análises de solo com os extratores DTPA, Mehlich 1 e 3 e HCl. Oliveira et al. (1999) afirmam que a variação do pH do solo demonstrou se um fator de grande influência no controle do fluxo difusivo (difusão) de zinco no solo. O aumento do pH do solo reduz consideravelmente a difusão de zinco no solo.

O pH do solo pode exercer um efeito indireto na disponibilidade de Zn, por afetar a atividade microbiológica do solo. Siqueira e Franco (1988) afirmam que a matéria orgânica é uma importante fonte de zinco para os solos das regiões tropicais. Essa informação corrobora os dados de Malavolta (1980), de que 60% do zinco disponível na solução do solo, ocorrem na forma de complexos orgânicos solúveis.

### 2.5.2 Textura

A adsorção de Zn é também muito dependente da textura do solo. Uma alta correlação foi encontrada entre a porcentagem de argilo-minerais no solo e a máxima adsorção de Zn (Shuka e Mittal, 1979 e Couto et al., 1992).

Das frações granulométricas que constituem o solo, apenas o silte e a argila participam do processo de fixação, sendo que a argila exerce maior

influência, conforme foi verificado nos trabalhos de Hibbard (1940) e Silveira et al. (1971). Pode ocorrer precipitação física do zinco nos látices ou por adsorção nos sítios de troca ( Reddy e Perkins, 1974), pela entrada do zinco nos lugares normalmente ocupados pelo alumínio na camada octaedral dos argilo-minerais ou substituindo o magnésio, segundo Elgabaly ( 1950 ) e Lavollay (1956), citado por Grillo (1984), ou ainda com a entrada do zinco nas entrecamadas das argilas expansivas (Elgabaly e Jenny, 1943). Deste modo, podemos afirmar que as argilas do tipo expansivas adsorvem mais zinco do que as argilas do tipo 1:1.

As forças de adsorção são diferentes em função do tipo de argila e, por ordem decrescente, têm-se: vermiculita, montmorilonita, illita, caulinita, e como já foi mencionado, a fração limo também adsorve zinco, porém a areia não o faz (Igue e Bornemisza, 1967; Wilkinson, 1972; Bolland, Posner e Quirk, 1977; Peralta, Bomemiza e Alvarado, 1981).

Após adicionar zinco em quantidades idênticas a solos de diferentes texturas, Couto et al. (1992) e Consolini (1998) observaram que a recuperação do elemento por um mesmo extrator foi menor nos solos argilosos do que nos solos de textura mais arenosa, sugerindo adsorção de zinco pelas partículas de argila. Isto implica em dizer que para uma mesma disponibilidade de zinco, os solos argilosos requerem maiores doses deste nutriente comparados com solos de textura mais grosseira, embora os solos argilosos apresentem maior capacidade de suprir o nutriente ao longo do cultivo, denominado de fator capacidade do solo.

As recomendações atuais para fornecimento de zinco ao cafeeiro, em solos argilosos, têm sido exclusivamente via foliar (Mendes et al., 1995). No entanto, acredita-se que com a aplicação anual da dose de zinco recomendada via solo, para o cafeeiro, simultânea a aplicação foliar, após alguns anos será formado um depósito ou reserva de zinco no solo que irá suprir este cultivo através da raiz, não sendo mais necessária a aplicação foliar. Malavolta (1988),

citado por Malavolta et al. (1995), comenta que ao serem atingidos  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de zinco no solo, pelo extrator Mehlich 1, as aplicações foliares contendo o nutriente zinco não seriam mais necessárias. Porém, torna-se imprescindível o acompanhamento ou monitoramento do estado nutricional da planta, através de análise foliar.

### 2.5.3 Teores de Óxidos de Ferro, Alumínio e Manganês

A maioria dos solos tropicais apresenta, na fração coloidal inorgânica, predominância dos constituintes óxidos de ferro e alumínio e em menor proporção óxidos de manganês. Esses compostos desempenham um fundamental papel na adsorção de zinco (Kalbasi, Racz e Rudgers, 1978; Muniz, 1995 e Consolini, 1998)). A explicação para esse fenômeno é o fato dos óxidos de Fe e Mn e os óxidos e hidróxidos de Al serem partículas anfóteras, ou seja, apresentam cargas dependentes de pH. Assim, com a elevação do pH, aumentam as cargas negativas de superfície desses compostos, favorecendo a adsorção de zinco.

Existem dois tipos de óxidos de ferro e alumínio: cristalinos ou livres, que são extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato, e menos cristalinos ou amorfos que são extraídos com oxalato de amônio (Consolini, 1998). Esta autora encontrou que o zinco determinado pelos extratores DTPA, Mehlich 1 e 3 e HCl estava associado principalmente às frações trocável, matéria orgânica e óxidos Fe e Al amorfos ou menos cristalinos.

Shuman(1976) encontrou que os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio adsorvem zinco em função do pH, com ponto de inflexão entre o pH 5,0 e 6,0. Novamente Schuman (1977), em um outro trabalho, observou que a remoção dos óxidos e hidróxidos de ferro pode aumentar a capacidade de adsorção de zinco em alguns solos, provavelmente porque esses óxidos e hidróxidos neutralizam as cargas negativas das argilas, impedindo a adsorção

eletrostática do zinco nessas cargas. A importância dos teores de óxidos de Ferro e Alumínio no processo de adsorção de zinco no solo foi confirmada também, pelos trabalhos de Kuo e Barber (1980); Singh, Chabra e Arbol (1983), Couto et al. (1992) e Muniz (1995). A importância dos óxidos de manganês neste processo de adsorção de Zn, pelo solo é tratada com propriedade por Muniz (1995).

Valadares (1972), ao analisar o zinco em solos do Estado de São Paulo encontrou boa correlação ( $r = 0,79^{**}$ ) entre os teores de óxido de ferro e zinco. Roesch (1979) considera o alumínio extraível por Oxalato de Amônio 0,2 M, (alumínio menos cristalino ou amorfo) como o constituinte de solo mais importante na adsorção química ou específica de zinco.

Em condições de pH elevado, a adsorção de zinco é maior nos óxidos de alumínio do que nos óxidos de ferro, provavelmente devido à maior superfície específica dos óxidos de alumínio. Kalbasi et al. (1978), estudando a adsorção de zinco pelos óxidos de ferro e alumínio, concluíram que, em valores de pH semelhantes os óxidos de Fe (goetita e hematita) têm maior capacidade de adsorção que o óxido de Al (gibbsita). Segundo esses autores, isto é provavelmente explicado pela maior densidade de cargas e menor superfície específica apresentada pelos óxidos de Fe.

Stanton e Burguer, citados por Shuman (1976), admitem que os óxidos de ferro adsorvem o zinco por dois mecanismos envolvendo  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ ; que essa adsorção é controlada pelo pH e pela CTC quando no sistema existem caulinita, óxidos hidratados de ferro e complexos argila-óxido de ferro.

Assaad e Nielsen citados por Souza e Ferreira (1991) citam que a adsorção de zinco por óxidos de ferro e alumínio é altamente dependente do pH e que há um aumento significativo do fenômeno com a sua elevação. Postulou-se que existe uma interação entre o  $\text{Zn}^{2+}$  e a superfície dupla de grupos  $\text{OH}^-$  de adsorção específica, indicando também que o coeficiente de seletividade dos



dos óxidos de ferro e de alumínio para o zinco tem um ativador entre os minerais de argila e o húmus, e que essa adsorção específica do zinco pelo óxidos de ferro, alumínio e manganês pode ser parcialmente responsável pela não disponibilidade do zinco adicionado ao solo.

#### **2.5.4 Matéria Orgânica**

A matéria orgânica encontrada no solo é constituída por ácidos húmicos e fúlvicos e por outro grupo de compostos que incluem ácidos orgânicos, polifenóis, aminoácidos, peptídeos, proteínas e polissacarídeos. Esses compostos são responsáveis pela formação de complexos orgânicos com metais do solo, podendo diminuir a solubilidade desses metais através da formação de complexos com ácidos húmicos , ou aumentar a disponibilidade quando complexados por ácidos fúlvicos e os outros compostos orgânicos que a constituem (Stevenson e Ardakani, 1972).

Existe uma relação entre a quantidade de zinco disponível no solo e a presença de matéria orgânica. A matéria orgânica pode formar compostos solúveis e compostos insolúveis com o zinco, sendo que os primeiros tendem a manter o zinco em solução, geralmente aumentando a sua disponibilidade para as plantas, conforme os dados encontrados por Wallace (1963). Silveira et al. (1975) verificaram que a matéria orgânica apresenta correlação positiva com a quantidade de zinco fixada.

A diminuição da disponibilidade de zinco na presença de matéria orgânica é causada pela imobilização por microorganismos e pela formação de quelatos e outros compostos orgânicos mais complexos ( Himes e Barber, 1957; Miller e Ohlrogge, 1958). A ligação do zinco com compostos orgânicos sólidos do solo é um mecanismo de fixação que reduz a sua disponibilidade para as plantas. Segundo Lindsay (1991), a adsorção ou formação de complexos de superfície, ou seja, combinações metal-matéria orgânica insolúveis, estão mais

relacionados com a fração húmica, em particular com os ácidos húmicos, enquanto os complexos metálicos solúveis estão associados com compostos de menor complexidade molecular, como ácidos orgânicos e aminoácidos, sendo que complexos metal-ácidos fúlvicos também apresentam alta solubilidade em água. Dentre os constituintes da matéria orgânica, o ácido húmico desempenha papel de destaque na fixação do zinco com a adsorção aumentando à medida que a matéria orgânica se torna mais decomposta (Stevenson e Ardakani, 1972).

Aproximadamente 60 % do zinco total dissolvido na solução do solo se encontram na forma de complexos orgânicos solúveis (Malavolta 1980 e Hamilton, 1993). A quantificação da retenção de zinco influenciada pela matéria orgânica é dificultada pela impossibilidade de separar os efeitos dos resíduos orgânicos, dos efeitos do fósforo e de outros constituintes do solo.

A lixiviação maior ou menor do zinco no perfil do solo está intimamente relacionada com o teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais, isto é quanto maior o teor de matéria orgânica, menor é o movimento do zinco no perfil (Horowitz e Dantas, 1976; Leite e Skogley, 1977 e Muniz, 1995).

Em solos orgânicos é comum ocorrer a formação de complexos insolúveis, diminuindo sensivelmente a disponibilidade de zinco e outros micronutrientes para as plantas (Bataglia, 1988). Ainda segundo esse autor, o uso de adubações orgânicas ou adição de agentes quelatizantes no solo, alteram significativamente a disponibilidade de nutrientes, podendo se usados como técnicas de manejo do solo visando a correção de deficiências ou de excessos de determinados nutrientes.

### 2.5.5 CTC

Existe um conceito generalizado de que o zinco não apresenta grande mobilidade através do perfil do solo, principalmente nos de textura fina, permanecendo na camada superficial quando aplicado sobre a superfície do solo.

Segundo Jones, Riceman e Mckenzie (1957), em solos de CTC média (45 a 100  $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) o zinco permanece na superfície, mesmo após a aplicação de água equivalente à precipitação de vários anos. Ainda segundo esses mesmos autores, um movimento vertical de zinco no perfil do solo, sob condições de campo, só pode ser esperado em solos de baixa CTC. Grillo (1984) verificou que a aplicação de diferentes doses de zinco, na forma de sulfato, quelato e óxido de zinco, no solo, em mudas de cafeeiro, apresentou movimento do zinco até a profundidade de 15 cm para o sulfato e o quelato. Esse resultado parece ser contraditório, pois o que se sabe é que o zinco apresenta baixa mobilidade em solos argilosos e o solo utilizado por esse autor era argiloso. Apesar do alto teor de argila desse solo estudado, o mesmo apresentava baixa CTC, que é função do alto teor de argila 1:1, não permitindo uma grande retenção do íon Zn, fazendo com que o mesmo fosse lixiviado para as camadas mais profundas.

A adsorção de zinco pelo solo é também influenciada pela CTC. Kuo e Barker (1980) e Muniz (1995), encontraram que a CTC é também responsável, dentre outros fatores pela adsorção de zinco, em alguns solos analisados. Essas observações corroboram as encontradas por Couto et al. (1992) que verificaram também, coeficientes de correlação significativos, entre os valores de CTC e a capacidade de adsorção de zinco pelos solos.

Consolini (1998) encontrou que a CTC do solo correlacionou significativamente, com a quantidade de zinco extraída pelo extratores DTPA e Mehlich I.

### **2.5.6 Adubos Fosfatados**

Os solos tropicais são, na sua maioria, ácidos e apresentam alta capacidade de fixação de fosfatos, necessitando, com frequência, da adição de corretivos de acidez e adubação com altas doses de P. A aplicação de P em

doses elevadas e/ou de forma concentrada pode diminuir a disponibilidade de zinco.

Segundo Olsen (1972), os primeiros estudos referentes à interação entre o fósforo e o zinco iniciaram-se em 1936. Usualmente coincide como deficiência de zinco induzida por P, esta interação é função da elevada disponibilidade do fósforo nos solos, decorrente das adubações, as quais podem induzir deficiência de zinco em plantas.

O estudo da interação fósforo x zinco está concentrado no esclarecimento de quatro principais pontos, que segundo Olsen (1972), são as causas da deficiência de zinco induzida pelo fósforo:

- a) Diminuição da taxa de translocação de zinco das raízes para a parte aérea da planta, como efeito da adubação fosfatada. Em geral, há uma tendência do zinco se acumular nos pontos próximos aos locais de absorção, especificamente nas raízes. Há indicação que o P aplicado interfere na translocação do zinco para a parte aérea. Esta hipótese é também defendida por Bahia (1973) e Pereira (1985), que encontraram redução na translocação de zinco das raízes para a parte aérea do milho e arroz, respectivamente, na presença de diferentes doses de fósforo, e também por Corá (1991);
- b) simples efeito de diluição da concentração de zinco na parte aérea, em face da resposta, em crescimento, à aplicação de fósforo, que não é acompanhado pela absorção de zinco, para manter o nível adequado na parte aérea. O efeito de diluição pode ser definido com uma taxa de crescimento que excede a taxa de absorção de um dado nutriente, provocando decréscimo ou diluição da sua concentração no tecido vegetal;
- c) distúrbio metabólico nas células da planta, provocado pelo desequilíbrio entre fósforo e zinco, ou interferência da concentração

excessiva de fósforo na função metabólica do zinco. A redução do teor de zinco em várias culturas em função de altas doses de fósforo no solo tem sido verificada; porém os resultados não chegam a fornecer uma conclusão definitiva. Sabe-se que a adubação fosfatada pode induzir a deficiência de zinco, mas não se conhece a justificativa para o fato, podendo ser devido à formação de um composto do tipo  $ZnNH_4PO_4$ , cujo nome seria fosfato duplo de zinco e amônio (Souza e Ferreira, 1991).

- d) Uma interação que ocorre entre fósforo e zinco no solo apesar de esta ser discutível.

Outro fator que prejudica o fornecimento do zinco via solo é a adição de adubos fosfatados em quantidades muito elevadas (Thorne, 1957; Tisdale e Nelson 1970; Olsen, 1972 e Malavolta, 1980), uma vez que há interferência da adubação fosfatada com o micronutriente zinco, tanto no solo quanto na planta. Marschner (1995) afirma que a interação fósforo x zinco ocorre na planta, havendo alteração de seus processos metabólicos. Para Bahia (1973), Pereira (1985) e Barbosa (1994), interação entre o zinco e o fósforo pode ocorrer nas raízes, reduzindo a translocação do zinco para as folhas; e para Bingham (1963), esta interação se processa no solo. Entretanto, a reação entre zinco e fósforo formando  $Zn_3(PO_4)_2$  parece não ser a mais adequada para explicar a referida interação, apesar de o teor de fosfato solúvel estar direta e positivamente relacionado com a quantidade de zinco fixada pelo solo, (Barnette; 1936 e Silveira et al. 1971). A deficiência não é causada pela formação de fosfato de zinco, pois Malavolta (1976) afirma que a solubilidade desse sal é alta para fornecer tanto o fósforo quanto o zinco para as plantas. O fosfato de zinco, possível produto da interação no solo, pode ser usado como fonte de zinco para as plantas, e conforme afirmam Boawn, Viets e Crawford (1957), com um efeito

comparável ao ZnO e  $ZnSO_4$ . Marques (1990) também afirma que a relevância desta hipótese tem se mostrado insignificante.

Altos níveis de P afetam as propriedades dos solos, provocando uma alteração na disponibilidade de vários micronutrientes para as plantas, principalmente o zinco (Shuman, 1988). Ao adicionar fósforo ao solo, alguns processos podem ocorrer: a) alteração no pH devido às reações tanto do fosfato quanto do cátion acompanhante junto aos componentes do solo; b) alteração no pH em função da dissolução do fertilizante na solução do solo; c) precipitação direta do micronutriente zinco com o fosfato.

Em solução nutritiva, Moyses (1988) observou que o aumento das doses de P interferiram na absorção de Zn. Por outro lado, Pauli, Ellis e Moser (1968) observaram que a aplicação de fósforo não alterou o teor de zinco solúvel no solo. Entretanto, com altas concentrações de P e baixa de Zn, aparecem sintomas de toxidez de P nas folhas mais velhas. Algumas vezes esses sintomas podem ser mal interpretados como sendo deficiência de zinco em consequência das altas relações P/Zn, mas na verdade são sintomas de toxidez de P (Loneragan et al., 1979; Cakmak e Marschner, 1986; Webb e Loneragan, 1988). Em condições de deficiência de Zn, há um estímulo para a absorção de P pelas raízes como a translocação de P para a parte aérea. Este estímulo é específico para o zinco, não sendo verificado para outros micronutrientes (Loughman, Webb e Loneragan, 1982).

Loneragan et al. (1982); Welch, Webb e Loneragan (1982) e Pinton, Cakmak e Marschner (1993), constataram que o Zn desempenha um importante papel na manutenção da integridade e seletividade das membranas da raiz. Na sua deficiência, a permeabilidade da plasmalema das células das raízes é aumentada para o P. Assim, a maior absorção de P em plantas deficientes em zinco pode ser, em parte, atribuída à maior absorção passiva das células das raízes ou de uma desregulação do controle do carregamento do xilema.

López-Gorostiaga (1972), estudando as relações entre o P e o Zn, com raízes destacadas de plantas de cevada, em solo e solução nutritiva, concluíram que a deficiência de zinco induzida por fósforo pode ser explicada por vários processos: inibição não competitiva na absorção de zinco; precipitação do zinco pelo fosfato na superfície das raízes; redução da translocação para a parte aérea e efeito diluição devido ao grande crescimento proporcionado pelo suprimento de fósforo.

A interação fósforo x zinco no solo ainda apresenta outro efeito complicador, que é a infecção das raízes por micorrizas vesículo-arbusculares. Raízes infectadas têm mais zinco do que raízes não infectadas (Pairunan et al., 1980, Siqueira e Franco, 1988). Lambert, Baker e Cole (1979) encontraram que com o aumento da adubação fosfatada, houve uma redução no teor de zinco das plantas de soja micorrizadas, e aumento nas doses de P afetou, ainda de forma mais intensa, o conteúdo de zinco das plantas de soja não micorrizadas. Souza (1987) e Souza et al. (1991) não encontraram variação nos teores de Zn, em mudas de cafeeiro micorrizadas, na presença de matéria orgânica e diferentes doses de fósforo. Os maiores teores de zinco verificadas em plantas micorrizadas por certos autores, ao que tudo indica são decorrentes de efeitos secundários provocados pelo crescimento diferenciado das plantas micorrizadas ou pela influência do maior suprimento de fósforo no substrato, que proporciona intensas alterações na absorção e translocação do nutriente zinco, conforme relatam Colozzi- Filho e Siqueira (1986).

Não se pode aceitar que uma determinada hipótese explique as causas da interação fósforo x zinco. É possível que várias hipóteses se complementem na explicação do resultado final. O que tem que ficar bem claro é que há interação entre esses dois nutrientes tanto no solo quanto na planta. Tal fato demonstra que os efeitos do P sobre a absorção e translocação de Zn nas plantas não podem ser avaliados, levando-se em conta somente as concentrações dos

elementos no solo, há necessidade de avaliar também as quantidades absorvidas e sua distribuição na planta visando um controle mais adequado do estado nutricional de ambos os nutrientes.

Diante de tais circunstâncias, deve-se considerar a relação P/Zn na planta, como indicadora do estado nutricional de Zinco, e não somente a concentração de cada nutriente isoladamente. Malavolta (1993) descreve que a relação P/Zn considerada ideal para o cafeeiro deve estar entre 125 a 187. Em estudo conduzido por Guimarães et al. (1997) sobre este mesmo assunto, esses autores encontraram que a faixa mais adequada para o cafeeiro, para a relação P/Zn, está entre 100 a 150.

Portanto, ao estudar os nutrientes fósforo e zinco em cafeeiro, não se deve esquecer a relação mais adequada entre ambos, pois caso essa relação não esteja dentro da faixa aceitável, tudo indica a existência de problemas com a nutrição desses dois nutrientes.

### **2.5.7 Umidade do Solo**

A água é a principal exigência para que ocorra difusão, assim como o zinco é transportado até as raízes. Desta forma, a umidade do solo é de fundamental importância para que esse fenômeno se processe adequadamente. A deficiência de zinco no cafeeiro durante períodos de déficit hídrico não pode ser creditada somente à falta do nutriente no solo. Pavan et al. (1986) encontraram deficiência de zinco em cafeeiros somente nas parcelas não irrigadas. Nas parcelas que recebiam irrigação, a deficiência desse nutriente não ocorria. A redução da umidade do solo, em associação com a diminuição na difusão e fluxo de massa, bem como do fluxo transpiratório, que é limitado nas plantas em períodos de estiagem, podem ser os fatores que determinam o aparecimento da deficiência de zinco, mesmo havendo teores adequados desse nutriente no solo.



Couto (1985) trabalhando com eucalipto encontrou um nível crítico de zinco no solo, muito baixo. Tal fato levou o referido autor a pressupor que os sintomas de deficiência de zinco, frequentemente observados no campo, estavam possivelmente mais relacionados com a baixa disponibilidade de água nos períodos secos, o que proporcionaria baixa difusão de zinco, do que com os baixos valores deste nutriente encontrados nesses solos.

Segundo Warncke e Barber (1972a e 1972b), o grande efeito da umidade do solo na difusão do íon Zn se faz notar em condições de baixa concentração do nutriente na solução e densidade aparente menor que 1,1, g/cm<sup>3</sup>.

### 2.5.8 Compactação do Solo

Quando-se refere a compactação do solo, não se pode esquecer da sua umidade, pois o grau de compactação está relacionado com a umidade (Dias Junior, 1994). O uso e o manejo do solo, podem influenciar diferentemente as propriedades físicas dos solos (Anjos et al., 1994).

Além de dificultar a penetração radicular, a compactação do solo pode afetar também a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Camargo e Alleoni, 1997), uma vez que os mecanismos de fluxo de massa e difusão, responsáveis pela maior parte do transporte de nutrientes até as raízes, são dependentes da estrutura do solo. A influência é maior para os nutrientes P, K e Zn, transportados via difusão.

Quando a compactação ocorre em solos bem estruturados, pode até aumentar a condução de água e nutrientes até as raízes por reduzir os poros maiores em poros menores, onde se encontra a maioria da água disponível para as plantas (Resende, 1982).

Diferentes tipos de solos apresentam comportamento distinto quando submetidos à compactação (Silva et al. 1986) por possuírem características distintas, entre elas a textura (Reichardt, 1985), uma vez que partículas de

diferentes tamanhos, apresentam arranjo próprio quando submetidas à pressão.

Oliveira (1995), trabalhando com leguminosas arbóreas em solos compactados, não encontrou diminuição no crescimento quando a densidade aparente passou de 1,15 para 1,30 g/cm<sup>3</sup>. Ainda segundo esta autora, os teores de zinco foram dependentes da compactação e do nível de fósforo, sendo reduzido no tratamento compactado e no maior nível de fósforo.

Em condições de campo, no município de Guaranésia – MG, no ano agrícola 97/98, foram observados sintomas de deficiência de zinco em plantas de milho próximas ao florescimento, em um Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, em locais isolados, ou seja, em uma determinada faixa do cultivo. A princípio pensou-se na deficiência de zinco no solo, embora esse nutriente seja rotineiramente aplicado junto à adubação NPK de plantio, na cultura do milho. Após análise de solo e de folha das plantas da área que apresentou sintomas de deficiência, foi constatado que o nível de zinco no solo era adequado, mas a planta apresentava níveis abaixo do crítico. Em estudo mais detalhado, ficou comprovado que o local onde ocorreu a deficiência, era anteriormente usado como estrada pelo produtor. Como o trânsito de máquinas e equipamentos era intenso nesse local, houve uma compactação do solo naquela faixa, o que proporcionou o aparecimento da deficiência de zinco (Santa Helena Sementes, 1998). Embora, o autor não mencione tudo indica que o aumento da densidade do solo, tenha impedido o transporte normal do nutriente zinco até as raízes (difusão), ou então proporcionou uma redução do sistema radicular, diminuindo o volume de solo explorado.

### 2.5.9 Outros Fatores

Além dos fatores descritos anteriormente, outros são apontados por afetarem a disponibilidade de zinco. Dentre estes podemos destacar: luz -



quanto maior a intensidade de luz, maior é a resposta ao zinco; temperatura - Lucas e Knezek (1972) citados por Souza e Ferreira (1991), afirmam que em condições normais de suprimento de Zn podem ocorrer deficiências em baixas temperaturas.

Em solos inundados, Giordano e Mortvedt (1978) citam que, em condições de alto teor de matéria orgânica, pode ocorrer deficiência de zinco, devido à ação do bicarbonato na disponibilidade, além das condições de redução do solo, que podem reduzir o sulfato, ocorrendo a formação de ZnS, que fica imobilizado.

O aumento da disponibilidade de ferro e manganês nos solos submersos pode levar à deficiência de zinco pelo efeito antagônico entre o zinco e estes dois micronutrientes. O zinco pode ser ainda precipitado com o ferro, formando a franklinita (Sajwan e Lindsay, 1986).

A irrigação pode aumentar a disponibilidade de zinco, pois a água é o principal fator para que ocorra a difusão, porém esta prática, mal feita em solos arenosos, pode provocar a lixiviação do zinco, em maior ou menor grau, dependendo do teor de matéria orgânica.

A fonte de Zn utilizada também influencia a absorção de Zn. As principais fontes são sulfato, óxido, cloreto, nitrato e quelato. Isso ocorre porque o íon acompanhante do Zn no sal pode também afetar a sua velocidade de absorção. O cloreto, como componente da fonte de Zn ou na forma de KCl, promoveu as maiores absorções de Zn pelas folhas do cafeeiro.

Na Tabela 1 encontra-se a quantidade de Zn absorvida por folhas de cafeeiro aos 60 dias após a segunda aplicação, sendo que a dose aplicada foi de 0,325 gramas de Zn por planta, em cada aplicação. Nesta Tabela verifica-se que as fontes cloreto de cálcio e nitrato de zinco foram as que permitiram maior absorção de Zn pelas folhas do cafeeiro. Quando se adicionou cloreto de potássio ao sulfato de zinco, houve maior absorção de zinco, comparando-se à

TABELA 1. Efeito da fonte de Zn sobre a absorção desse nutriente por folhas de cafeeiro.

Fonte de Zinco	Zn nas Folhas (mg kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	13
Sulfato de Zinco	28
Cloreto de Zinco	56
Nitrato de Zinco	43
Quelato-Zn (EDTA)	24
Sulfato de Zinco + KCl	39

Fonte: Garcia e Salgado (1981).

aplicação do sulfato de zinco isoladamente. Na prática, a presença de KCl em soluções de aplicação foliar é comum devido a este fato (Garcia e Salgado, 1981, Abrahão et al. 1990; Fávoro, 1992).

Malavolta et al. (1995), ao estudarem a absorção foliar de sais e quelato de zinco marcados com radiozinco, fizeram as seguintes afirmações: 1) a absorção ocorreu na seguinte ordem decrescente: cloreto > nitrato = quelato > sulfato; 2) a maior quantidade absorvida ocorreu nas primeiras semanas, sendo bem menor no mês seguinte; 3) nos tratamentos que receberam o quelato de zinco, a quantidade de zinco transportada das folhas tratadas para outras partes da planta foi cerca de 2 a 3 vezes maior quando comparada com os tratamentos que receberam outros sais de zinco. Tais resultados sugerem que houve menor retenção cuticular, ou na parede celular, conforme descrevem Ferrandon e Chamel (1988), ou então o zinco aplicado na forma de quelato proporcionou maior redistribuição do nutriente na planta, resultante dessa forma orgânica aplicada.

Em outro ensaio dessa mesma natureza, Malavolta et al. (1996) verificaram a absorção radicular de sais e quelatos de zinco marcados com zinco radioativo, em solução nutritiva. No referido ensaio, esses autores encontraram que a maior absorção de zinco ocorreu quando esse nutriente foi fornecido na forma de quelato. As fontes minerais (cloreto, nitrato e sulfato) não diferiram entre si; no entanto, a quantidade de zinco absorvida pelo cafeeiro fornecido por estas formas foi aproximadamente a metade da absorvida pela forma de quelato. Esses autores concluem que a maior absorção de zinco da fonte quelato é decorrente desse nutriente estar protegido de reações de precipitação, que podem ocorrer na solução nutritiva e mais ainda no solo, e também da competição iônica.

Oliveira et al. (1999) encontraram também influência do íon acompanhante, no fluxo difusivo de zinco, em solos com diferentes textura e pH. Foi encontrado maior fluxo difusivo de zinco quando a fonte utilizada foi o cloreto de zinco.

Diante do que foi aqui exposto, pode-se concluir que vários são os fatores que interferem na dinâmica do zinco no solo e que o conhecimento desses fatores são de extrema importância para o êxito da aplicação desse nutriente via solo.

### **3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRAHÃO, E.J.; CARVALHO, M.M. de; CARVALHO, J.C de; GUIMARÃES, P.T.G. Efeitos da aplicação foliar de sulfato de zinco, na presença de cloreto de potássio, no teor de zinco nas folhas e na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. Resumos... Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1990. p.116-117.

- 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: UFV/DPS/SBCS, 1996. p. 615-646.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L. ; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo – metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1988, Viçosa, MG. **Resumos...**Viçosa:UFV, 1988. p.68-69.
- ALVAREZ J. M.; OBRADOR, A.; RICO, M. I. Effects of chelated zinc, soluble and coated fertilizers, on soil zinc status and zinc nutrition of maize. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n1/2, p. 07-19, Jan. 1996.
- ANJOS, J.T. ; UBERTI, A.A.A. ; VIZZOTTO, V.J. ; LEITE, G.B. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.139-45, jan./abr. 1994.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. **Coffee business**. 4.ed. Rio de Janeiro, 1998. 137 p.
- BAHIA, F.G.F.T.C. Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem em dois solos de Minas Gerais. Viçosa:UFV, 1973. 38p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- BARBOSA, Z. Efeito do fósforo e do zinco na nutrição e crescimento de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Aroeira do sertão). Lavras:ESAL, 1994. 105p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BARNETTE, R.M.; CAMP, J.P.; WARNER, J.D.; GALL, O.E. The use of zinc sulfate under corn and other field crops. Florida:Florida University, 1936. 19p. (Florida Agriculture Experimental State Bulletin, 292).
- BAR-YOSEF, B. pH – dependent zinc adsorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, n.6, p.1095 – 1099, Nov./Dec. 1979.
- BAR-YOSEF, B.; FISHMAN, S.; TALPAZ,H. A model of zinc movement to single roots in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p. 1272 -1279, Nov./Dec. 1980.
- BATAGLIA, O. C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (eds). **Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira**. Londrina:EMBRAPA/IAPAR/SBCS, 1988. p. 121-132.

- BESOAIN, E. **Mineralogia de arcillas de suelos**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1985. 1205p.
- BINGHAM, F.T. Relations between phosphorus and micronutrients in plants. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.27, n.4, p.389-391, July/Aug. 1963.
- BOAWN, L.C. ; VIETS, F.G.Jr.; CRAWFORD, C.L. Plant utilization of zinc from various types of zinc compounds and fertilizer materials. **Soil Science**, Baltimore, v.83. n.2, p.219-227, Feb. 1957.
- BOLLAND, M.D.A.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. Zinc adsorption by goethite in the absence and presence of phosphate. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, v.15, p.279-86, Nov. 1977.
- BUKOVAC, M.J.; WITTEWER, S.H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. **Plant Physiology**, Washington, v.32, n.5, p.428-435, Sept. 1957.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus- induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorus. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.68, n.3, p.483-490, Nov. 1986.
- CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba:ESALQ/USP, 1997. 132p.
- CHAUDRY, F.M.; LONERAGEAN, J.F. Zinc adsorption by wheat seedlings and the nature of its inhibition by alkaline earth cations. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.23, n.77, p.552-560, June 1972.
- CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.31, p.239-298, 1980.
- COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de café. I. Efeitos da *Glomus margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.3, p.207-211, set./dez. 1986.
- CONSOLINI, F. **Distribuição e disponibilidade das frações de zinco em alguns solos do Estado de São Paulo**. Jaboticabal:UNESP, 1998. 80p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal).
- CORA, J.E. **Avaliação da disponibilidade de boro, cobre e zinco em solos de várzeas do Estado de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1991. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

- COUTO, C. Resposta do eucalipto e do milho à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. Viçosa:UFV, 1985. 72p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- 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. *Revista Árvore*, Viçosa, v.9, n.2, p.134-148, 1985.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.1, p.79-87, Jan./Abr. 1992.
- DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. de C. Diagnose visual. In: *Micronutrientes na agricultura*. FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C.P. da (eds.). Piracicaba:POTAFOS/ CNPq, 1991. p. 273 – 308.
- DIAS JUNIOR, M. de S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing:Michigan State University, 1994. 114p. (PhD Thesis).
- ELGABALY, M.M. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. *Soil Science*, Baltimore, v.69, p.167-173, Jan./June 1950.
- ELGABALY, M.M.; JENNY, H. Cation and anion interchange with zinc montmorillonite clays. *Journal of Physic Chemistry*, New York, v.47, p.339-408, 1943.
- EPSTEIN, E. *Nutrição Mineral das Plantas; princípios e perspectivas*. Tradução de Euripedes Malavolta. São Paulo:EDUSP, 1975. 341p.
- FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FASSBENDER, H.W. *Química de suelos: com ênfasis em suelos de America Latina*. 4.ed. San José:Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1984. 398p.
- FÁVARO, J. R. A. Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco, na presença de cloreto de potássio. Viçosa:UFV. Imprensa Universitária, 1992. 91 p. (Dissertação - Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Diagnóstico da cafeicultura em Minas Gerais*. Belo Horizonte:FAEMG, 1996. 52p.



- FERRANDON, M.; CHAMEL, A.R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.11, n.2, p.247-263, 1988.
- FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. ( eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq , 1991. 734p. (Anais do I Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura).
- FERTIZA. Companhia Nacional de Fertilizantes. *Manual de adubação*. São Paulo, 1996. 80p.
- FRANCO, C. M.; MENDES, H. C. Deficiência de zinco em cafeeiro. *Boletim da Superintendência dos Serviços do Café*, São Paulo, v.29, n.334, p.34-39, dez. 1954.
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA-FILHO, M.V.de. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, n.3, p.167-170, set./dez. 1981.
- GARCIA, A.W.R.; SALGADO, A.R. Absorção de zinco pelo cafeeiro através de sais e misturas quelatizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRA, 9, 1981. São Lourenço. Resumos... Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1981. p.39-47.
- GIORDANO, P.M; MORTVEDT, J.J. Responses of corn to Zn in ortho-and pyrophosphate fertilizer, as affected by soil temperatures and moisture. *Agronomy Journal*, Madison, v.70, n.4, p.531-534, July/Aug. 1978.
- GRILLO, J.M. Aplicação de zinco no solo: sua movimentação e absorção por mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Lavras:ESAL. 1984. 100 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- GUIMARÃES, P.T. G. ; CARVALHO, J. G. de ; MENDES, C. C. A. ; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição Mineral do Cafeeiro. XXXVIII. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de zinco na produção e composição mineral das folhas do cafeeiro. (*Coffea arabica* L.) Anais da ESALQ, Piracicaba, v.40, n.1, p. 497-507, 1983.
- GUIMARÃES, P. T. G.; LOPES, A. S. Solos para cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds.). *Cultura do cafeeiro e fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba:POTAFOS, 1986. p. 115 – 149.

- GUIMARÃES, P.T. G. ; SILVA, E. de B.; NOGUEIRA, F. D. ; MELO, E.M. de. Efeito da quantidade e do número de aplicações de sulfato de zinco sobre a produção e relação P/Zn do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997. Manhuaçu-MG. Trabalhos Apresentados... Rio de Janeiro:MAA/PROCAFE/PNFC, 1997. p. 155 -156.
- HALSTEAD, E.H.; BARBER, S.A.; WARNCKE, D.D.; BOLE, J.B. Supply of Ca, Sr, Mn and Zn to plant roots growing in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 32, p.69-72, 1968.
- HAMILTON, M. A.; WESTERMANN, D.T.; JAMES, D.W. Factors affecting zinc uptake in cropping systems. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 57, n.5, p. 1310-1315, Sept./Oct. 1993.
- HEWITT, E. J.; SMITH, T. A. *Plant mineral nutrition*. London:English University Press, 1975. 298 p.
- HIBBARD, P.L. The chemical studies of zinc in the soil with methods of analysis. *Hilgardia*, Berkeley, v.13. n.1.p.1-29, 1940.
- HOROWITZ, A. ; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona Litoral-Mata. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p. 27-35, 1976. (Série Agronomia).
- IGUE, K.; BORNEMISZA, E. El problema del Zn en suelos y plantas de reiones tropicales y de zonas templadas. *Fitotecnia Latinoamericana*, San José, v.4, n. 1, p.29-44, ene./jun. 1967.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. *Cultura de café no Brasil; pequeno manual de recomendações*, Rio de Janeiro. 1986. 215 p.
- IYENGAR, S.S.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 45, n.4, p.735-739, July/Aug. 1981.
- JONES, G. B. ; RICEMAN, D.S.; MCKENZIE, J. O. The movement of cobalt and zinc in soils as indicated by radioactive isotopes. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v. 8, n.2, p.190-201, Mar. 1957.
- KALBASI, M.; RACZ, G.J.; LOEWEN-RUDGERS, L.A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. *Soil Science*, Baltimore, v.125, n.3, p.146-150, Mar. 1978.

- KUO, S.; BAKER, A.S. Sorption of cooper, zinc, and cadmium by some acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n.5, p.969-974, Sept./Oct. 1980.
- LAMBERT, D.H; BAKER, D.E.; COLE Jr., H. The role of mycorrhizal on the interactions of phosphorus with zinc, cooper and other elements. **Soil Science Society of America Journal**, Atlanta, v. 43, n.5, p.976-980, Sept./Oct. 1979.
- LAMBERT, D.H; COLE Jr., H.; BAKER, D.E. Variation in the response of alfafa clones and cultivars to mycorrhizae and phosphorus. **Crop Science**, Madison, v.20, n.4, p. 615-618, July/Aug. 1980.
- LEITE, J.P ; SKOGLEY, E.O. Retention and leaching of cooper and zinc in "Tabuleiro"soils as influenced by nutrient carrier. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.12, n.único, p.27-34, 1977.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Willey & Sons, 1979. 449p.
- LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils, In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (eds.). **Micronutrients in agriculture**. 2.ed. Wisconsin:Soil Science Society of America, 1991. p.94-112.
- LONERAGAN, J.F.; GROVE, T.S.; ROBSON, A.D.; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity is a factor in zinc- phosphorus interaction in plants. **Soil Science Society of America Journal** , Madison, v.43, n.5, p. 966-972, Sept./Oct. 1979.
- LONERAGAN, J.F.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.M.; ADUAYI, E.A.; TENGAH, A.; LAZAR, V.A.; CARY, E.E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p. 345-352, 1982.
- LOPES, A.S. **Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties**. Raleigh:North Carolina State University, 1977. 189p. (Ph.D Thesis).
- LOPES, A.S. **Guia das melhores técnicas agrícolas**. São Paulo:ANDA, 1996. 28p.
- LÓPEZ-GOROSTIAGA, O.E. **Contribuição ao estudo das relações entre o zinco e o fósforo na nutrição das plantas**. Piracicaba:ESALQ/USP, 1972. 44p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

- LOUGHMAN, B. C.; WEBB, M. J.; LONERAGAN, J.F. Zinc and the utilization of phosphate in wheat plants. In: SCAIFE, A. (ed.). *Proceedings of the ninth international plant nutrition colloquium*. Farnham Royal: Commonwealth Bureaux, 1982. p. 335- 340.
- MACHADO, P.L.O.A.; PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.2, p.253-256, abr./jun. 1987.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo*. São Paulo:Ceres, 1976.528p. Os micronutrientes, p. 413 – 448.
- MALAVOLTA, E. *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. Colheitas econômicas máximas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.
- MALAVOLTA, E. *Nutrifatos: informações agronômicas sobre nutrientes para as culturas*. Piracicaba:POTAFOS, 1996. 24p. (Arquivo do Agrônomo, 10).
- MALAVOLTA, E. *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro*. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds.). *Cultura do cafeeiro e fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba:POTAFOS. 1986. p. 165 – 274.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E.; PAULINO, V.T. Micronutrientes - Uma visão geral. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.da. (eds.) *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba:POTAFOS/CNPq, 1991. p.243-272.
- MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.G. de ; GUIMARÃES, P. T. G. Effect of micronutrients on coffee grown in Latin American. *Journal of Coffee Research*, Balehonnur, v.13, n.3, p. 64-77. 1983.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; JOHNSON, C. M. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. VI. Efeitos das deficiências de micronutrientes em *Coffea arabica* L. var. Mundo Novo cultivado em solução nutritiva. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v.18, p. 147-167, 1961.

- MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.; LIMA FILHO, O.F. de.; NASCIMENTO FILHO, V.; CABRAL, C.P. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. 53. Absorção foliar de sais e quelatos de zinco marcados com radiozinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., 1995, Caxambu. Trabalhos Apresentados... Rio de Janeiro:PROCAFE/ DENAC, 1995. p.114-115.
- MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.; LIMA FILHO, O.F. de.; NASCIMENTO FILHO, V.; CABRAL, C.P. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. 55. Absorção radicular de sais e quelatos de zinco marcados com zinco radioativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. Trabalhos Apresentados... Rio de Janeiro:SDR/ PROCAFE/ EMBRAPA/ DENAC/ CATI, 1996. p. 34-36.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MANUAL INTERNACIONAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Tradução e Adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2.ed. Piracicaba:POTAFOS, 1998. 177p.
- MARQUES, R. Efeitos do fósforo e do zinco na nutrição e crescimento da seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Lavras:ESAL, 1990. 110p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of Higher Plants. London:Academic Press, 1986. 674p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATIELLO, J. B. Cafeicultura moderna: Aspectos de uma nova visão. Rio de Janeiro: Globo, 1995. 210 p.
- MELO, E. M. de Efeito da aplicação foliar de sulfato de zinco na produção e na composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), Lavras: UFLA, 1997. 66 p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- MENDES, A.N.G. Economia cafeeira: O agribusines. Lavras:UFLA/FAEPE. 1996. 59p. (Curso de Cafeicultura Empresarial Produtividade & Qualidade).
- MENDES, A.N.G.; ABRAHÃO, E.J.; CAMBRAIA, J.F.; GUIMARÃES, R.J. Recomendações Técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas. Lavras:UFLA, 1995. 76 p.

- MILLER, M.H.; OHLROGE, A.J. Water-soluble chelating agents in organic materials. I. Characterization of chelating agents and their reactions with trace metals in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.22, n.2, p.225-228, Abr. 1958.
- MORAGHAN, J.T.; MASCAGNI Jr., H.J. Environmental and soils affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (eds.). *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1991. p.371-425.
- MOYSES, E.L.F.D. Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L.) CV Catuaí em solução nutritiva com diferentes doses de zinco e pH. Piracicaba:ESALQ/USP, 1988. 147p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MULLER, L. E. Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (*Coffea arabica* L.). Turrialba:Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1959. 36p. (Boletim Técnico, 4).
- MUNIZ, L. L. F. Absorção de zinco em solos do vale do aço mineiro, afetada pela remoção de matéria orgânica, óxido de ferro e óxido de manganês. Viçosa:UFV, 1995. 81 p. (Dissertação - Mestrado em Química).
- NACIF, A.de P. Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv, Catuaí sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes no cerrado de Patrocínio-MG. Viçosa:UFV, 1997. 124p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- NYE, P.H. Process in the root environment. *The Journal of Soil Science*, Oxford, v.19, n.1, p.205-215, Mar. 1968.
- OLIVEIRA, C.V. de. Micorrização, Compactação e fósforo no crescimento de leguminosas arbóreas em solo degradado. Lavras:UFLA,1995. 54p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- OLIVEIRA, M. F . G. de. Fracionamento e difusão de zinco influenciados pelo íon acompanhante e pelo pH de solos. Viçosa:UFV, 1998. 45 p.
- OLIVEIRA, M.F.G. de; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.3, p.609-615, jul./set. 1999.
- OLIVER, S.; BARBER, S. A. Mechanisms for the movement of Mn, Fe, B, Cu, Zn, Al and Sr from one soil to surface of soybean roots (*Glycine max*) *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.30, p.468-472, 1966.

- OLIVER, S.; BARBER, S. A. Mechanisms for the movement of Mn, Fe, Cu, Zn, Al and Sr from the soil to the surface of soybean roots. *Soil Science society of America Proceedings*, Madison, v. 32, n.1, p.69-72, Jan./Feb. p.69-72, 1968.
- OLSEN, E. R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J. J. (ed.) *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.243-264.
- PAIRUNAN, A.K.; ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. The effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizas in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus sources of different solubilities. *The New Phytologist*, Oxford, v.84, n.2, p.327-338, 1980.
- PAULI, A.W.; ELLIS, R. Jr.; MOSER, H.C. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. *Agronomy Journal*, Madison, v.60, n.3, p.394-396, July/Aug. 1968.
- PAVAN, M.A.; SIQUEIRA, R.; FARIA, R.T.de.; MACHADO, P.L.O.de A.; MIYAZAWA, M. Influência da umidade do solo no diagnóstico da deficiência de zinco em cafeeiro. *Ciência e Cultura*, Piracicaba, v.38, n.10, p.1695-1699, out. 1986.
- PERALTA, F.; BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. Zinc adsorption by Andepts from the Central Plateau of Costa Rica. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.12, n.5, p.669-682, 1981.
- PEREIRA, J.E.; CRAFTS, A.S.; YAMAGUCHI, S. Translocation in coffee plants. *Turrialba*, Turrialba, v.13, n.1, p.64-79, ene./mar. 1963.
- PEREIRA, L.F. Efeitos da aplicação de calcário, fósforo e zinco no crescimento e nutrição do trigo (*Triticum aestivum* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) em dois solos de várzea do Estado de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1985. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PINTON, R.; CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Effect of zinc deficiency on proton fluxes in plasma membrana - enriched vesicles isolated from bean roots. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.44, n.260, p.623-630, Mar. 1993.
- REDDY, M. R.; PERKINS, H. F. Fixation of zinc by clay minerales. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 38, n.2, p.229-237, Mar./Apr. 1974.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no Sistema Solo-Plantas-Atmosfera*. Campinas:Fundação Cargill, 1985. 445 p.

- RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa:Universidade Federal de Viçosa, 1982. 100p.
- ROESCH, V. **Fatores que afetam a adsorção de zinco em solos**. Porto Alegre:UFRS, 1979. 91 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SAEED, M.; FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.43, n.4, p. 683-686, July/Aug. 1979.
- SAJMAN, K.S.; LINDSAY, W.L. Effects of redox on zinc deficiency in paddy rice. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.5, p.1264-1269, Sept/Oct. 1986.
- SANTA HELENA SEMENTES, **Relatório técnico de visita a produtores de milho do Sul de Minas Gerais**. Sete Lagoas, 1998. 26p.
- SANTOS, H.L. Efeito de Zn, B, Mo e calagem na soja perene (*Glycine javanica* L.) em solos de vegetação de cerrado, em condições de estufa. Viçosa:UFV, 1971. 46 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Planta).
- SHARMA, K.N. ; DEB, D.L. Calibration for zinc requirements for wheat based on diffusive flux equations. *Journal Nuclear Agricultural Biological*, New Delhi, v.16, p.55-64, 1987.
- SHARMA, P.N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S.C.; SHARMA, C.P. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). *Plant and Soil*, The Hague, v.124, n.2, p.221-225, June 1990.
- SHUKLA, U.C.; MITTAL, S.B. Characterization of zinc adsorption in some soils of India. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.43, n.5, p. 905-908, Sept./Oct. 1979.
- SHUMAN, L.M. Adsorption of zinc by iron and aluminum hydrous oxides as influenced by aging and pH. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.41, n.4, p.703-706, July/Aug. 1977.
- SHUMAM, L.M. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron and zinc among soil fractions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.5, p.1236-1240, Sept./Oct. 1986.
- SHUMAM, L.M. Effect of phosphorus level on extractable micronutrients and their distribution among soil fractions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.52, n.1, p.136-141, Jan./Feb. 1988.



- SHUMAM, L.M. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.39, n.3, p.454-458, May/June 1975.
- SHUMAM, L.M. Zinc adsorption isotherms for soil clays with and without iron oxides removed. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.40, n.3, p.349-352, May/June 1976.
- SHUMAM, L.M. Zinc, manganese, and copper in soil fractions. *Soil Science*, Baltimore, v.127, n.1, p.10-17, Jan. 1979.
- SILVA, A.P. ; LIBARDI, P.L. ; CAMARGO, O.A. A influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, n.1, p.91-95, maio/ago. 1986.
- SILVA, J. B. S. da. Influência de doses de sulfato de zinco, aplicadas por via foliar, sobre a produção do cafeeiro. Lavras:ESAL, 1979. 62p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVA, S.de M. Competitividade do agronegócio do café na região sul de Minas Gerais. Lavras:UFLA, 1998. 125p. (Dissertação - Mestrado em Administração da Empresa Rural).
- SILVEIRA, R.I.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MELLO, F.A.F.de.; ARZOLLA, S.; SARRUGE, J.R. Influência das frações granulométricas sobre a fixação de zinco pelo solo. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v.32, n.2, p.277-284, 1971.
- SILVEIRA, R.I.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SARRUGE, J.R. Influência do pH e dos teores de fosfato solúvel e matéria orgânica sobre a fixação de zinco pelo solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, v.32, n.3, p.283-295, 1975.
- SINGH, M.V.; CHHABRA, R.; ABROL, I.P. Factors affecting DTPA extractable zinc in sodic soils. *Soil Science*, Baltimore, v.136, n.6, p.359-366, Dec. 1983.
- SIQUEIRA, J. O. FRANCO, A. A. *Biotechnology do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 266p.
- SIQUEIRA, M. de O. Adsorção de zinco por solos com remoção da matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio. Viçosa: UFV, 1998. 81 p. (Dissertação - Mestrado em Agroquímica).

- SLATER, A.C. *Minerais e Minérios*. São Paulo:LEP, 1964. 154p. Cap. 6: Mineralogia descritiva, p.61-123.
- SOUZA, C.A.S. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) inoculadas com *Gigaspora margarita* (Becker & Hall), em substrato com e sem matéria orgânica e diferentes doses de superfosfato simples. Lavras:ESAL, 1987. 237p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- SOUZA, C.A.S.; SIQUEIRA, J.º; OLIVEIRA, E. de; CARVALHO, J.G.de Crescimento e nutrição de mudas de cafeeiro micorrizadas. Efeito do fósforo e da matéria orgânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.26, n.11/12, p.1989-2005, nov./dez. 1991.
- SOUZA, E.C.A.de; FERREIRA, M.E. Zinco. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.da. (eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.219-242.
- SOUZA, L.H. Efeito do pH da rizosfera de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. Viçosa:UFV, 1996. 64p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- STEVENSON, R.C.; ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LIDSAY, W.L., (eds). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.79-214.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. California:The Benjamin/Cummings, 1991. 559 p.
- THONGBAI, P.; HANNAM, R. J.; GRAHAM, R.D.; WEBB, M.J. Interaction between zinc nutritional status of cereais and Rhizoctonia root severity. *Plant and Soil*, The Hague, v.153, n.2, p.207-214, June 1993.
- THORNE, W. Zinc deficiency and its control. *Advance Agronomy Journal*, New York, v. 9, p.31-65. 1957.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATONS, J.D. *Soil fertility and fertilizers*. 4.ed. New York:Macmillan, 1985. 754p. Chapter 9: Micronutrients and other beneficial elements in soils and fertilizers, p.350-413.
- TSUI, C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plants . *American Journal of Botanic*, Columbus, v.35, n.3, p.172-180, Mar. 1948.

- VALADARES, J. M. A. S. O zinco em solos do Estado de São Paulo. Piracicaba:ESALQ/USP, 1972. 72p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).**
- WALLACE, A. Role of chelating agents on the availability of nutrients to plants. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.27, n.2, p.176-179, 1963.**
- WARNCKE, D.D.; BARBER, S.A. Diffusion of zinc in soil. I. The influence of soil moisture. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.36, n.1, p.39-42, Jan./Feb. 1972a.**
- WARNCKE, D.D.; BARBER, S.A. Diffusion of zinc in soil. II. The influence of soil bulk density and interaction with soil moisture. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.36, n.1, p.42-46, Jan./Feb. 1972b.**
- WEAR, J. I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Science, Baltimore, v. 81, p. 311-315, 1956.**
- WEBB, M. J.; LONERAGAN, J. F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration , and phosphorus toxicity of wheat plants. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.52, n.6, p.1676-1680, Nov./Dec.1988.**
- WELCH, R. M.; WEBB, M.J.; LONERAGAN, J. F. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In: SCAIFE, A. (Ed.). Proceedings of the ninth international plant nutrition colloquium. Farnham Royal: Commonwealth Bureaux, 1982. p. 710 – 715.**
- WILKINSON, H.F. Movement of micronutrients to plants roots. In: MORTVEDT, J.J. GIORDANO, P.M. LINDSAY, W.L. eds. Micronutrients in agriculture. Madison:Soil Science Society of America, 1972. p.139-169.**

## CAPÍTULO 2

### CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE CAFEIEIRO: EFEITOS DE DOSES DE ZINCO, CALCÁRIO E DA TEXTURA DO SOLO

#### RESUMO

**SOUZA, Carlos Alberto Spaggiari. Crescimento e nutrição de mudas de cafeeiro. Efeitos de doses de zinco, calcário e da textura do solo. Lavras: UFLA, 1999. 159p. (Tese - Doutorado em Agronomia/Fitotecnia).**

Com o objetivo de avaliar a resposta de mudas de cafeeiro, cultivadas em solos com diferentes texturas, doses de calcário e de zinco, via solo, conduziram-se três experimentos em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. O experimento foi instalado em DBC, em fatorial 3 x 5 com quatro repetições, sendo: três solos (LVm, LV e LR); cinco doses de Zn, diferenciadas para cada solo, e três doses de calcário (0, 1 e 2), correspondendo ao pH natural de cada solo, e as doses de calcário foram obtidas por curva de incubação para cada solo, visando elevar o pH a 5,5 e 6,5, respectivamente. Cada solo foi considerado um experimento. Os solos receberam carbonato de cálcio e de magnésio na relação Ca:Mg de 4:1 e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Cada parcela foi constituída por um vaso com 4 dm<sup>3</sup>, em que foram cultivadas duas plantas de cafeeiro. As plantas foram colhidas 180 dias após a repicagem, avaliando-se a matéria seca das folhas, caule e raízes e os teores de P e Zn em todas partes da planta. O cafeeiro respondeu em produção de matéria seca, à aplicação de Zn, com uma distinta potencialidade dos solos na produção. Os níveis críticos inferiores de Zn nos solos (em mg dm<sup>-3</sup>) variaram de 0,39 a 0,89 no LVm, de 3,39 a 26,96 no LR e foi de 20,52 para as doses de Zn no LV, pois neste solo a interação doses Zn x doses de calcário não foi significativa. Os níveis críticos superiores, no LVm, variaram de 9,76 a 18,61, no LR foram de 24,48 para a dose 0 de calcário; para as doses 1 e 2 a produção máxima foi obtida na maior dose de Zn aplicada, e para o LV foi de 20,52. Na parte aérea, os níveis críticos inferiores variaram de 26,38 a 1,09 no LVm, 11,18 a 109,60 no LR, e foram de 34,74 mg kg<sup>-1</sup> para as doses de Zn no LV. Os níveis críticos superiores foram de 89,26 a 365,25 no LVm, de 239,78 no LR, para a dose 0 de calcário. Para as doses de calcário 1 e 2, a produção máxima foi obtida nas maiores doses de Zn aplicadas, não sendo possível determinar o nível crítico superior para estas doses, neste solo. No LV, para as doses de Zn, a produção máxima foi 238,72 mg kg<sup>-1</sup>.

## Chapter 2

**SOUZA, Carlos Alberto Spaggiari ,Growth and nutrition of the coffee plant: Effects of doses of zinc, limestone and soil texture. Lavras:UFLA, 1999. 159p. (Doctorate thesis in Agronomy /Crop science )**

### ABSTRACT

With a view to evaluating the response of coffee tree cuttings, grown in soils with different textures, doses of limestone and zinc, via soil, three experiments were conducted in greenhouse of the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras. The experiment was set up in CRB, in 3 x 5 factorial with four replications, namely: three soils (LVm, LV and LR); five doses of Zn; distinguished for each soil and three doses of limestone (0, 1 and 2), corresponding to the natural pH of each soil and the doses of limestone were obtained by incubation curve for each soil, aiming to raise pH to 5.5 and 6.5, respectively. Each soil was regarded an experiment. The soils were applied calcium and magnesium carbonate at the Ca: Mg ratio of 4: 1 and a basic fertilization with both macro and micronutrients. Each plot was made up from a 4 dm<sup>3</sup> pots in which were cultivated two coffee plants. The plants were harvested 180 days after transplanting, evaluating the dry matter of the leaves, stem and roots and the contents of P and Zn in every part of the plant. The coffee tree responded in dry matter yield to the Zn application with a distinct potentiality of the soils in yield. The critical inferior levels of Zn in the soils (in mg dm<sup>-3</sup>) ranged from 0.39 to 0.89 in the LVm, from 3.39 to 26.96 in the LR and was of 20.52 for the doses of Zn in the LV for in this soil the doses of Zn x doses of limestone interaction was not significant. The superior critical levels, in the LVm, ranged from 9.76 to 18.61, in the LR they were of 24.48 for dose 0 of limestone, for doses 1 and 2, the maximum yield was obtained in the highest dose of Zn applied and for the LV was of 20.52. In the aerial part, the critical inferior levels ranged from 26.38 to 1.09 in the LVm, 11.18 to 109.60 in the LR and were of 34.74 mg kg<sup>-1</sup> for the doses of Zn in the LV. The critical superior levels were of 89.26 to 365.25 in the LVm, of 239.78 in the LR for the dose 0 of limestone. For doses 1 and 2, maximum yield was obtained in the highest doses of Zn applied, not being possible to determine the critical superior level for these doses, in this soil. In the LV, for the doses of Zn, the maximum yield was 238.72 mg kg<sup>-1</sup>.

## 1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes zinco e boro são os que mais limitam o crescimento e a produção do cafeeiro em algumas regiões do Brasil. A produção dos cafezais brasileiros vem sofrendo sérias reduções pela deficiência desses nutrientes no solo, da remoção pelas colheitas, do uso crescente de calcário e adubos fosfatados, que contribuem para menor solubilidade de zinco no solo.

Para corrigir a deficiência de zinco em cafeeiros, a aplicação foliar com sulfato e zinco, nas concentrações que variam de 0,2 a 0,6%, em até quatro aplicações anuais, tem sido preconizada como a maneira mais adequada para corrigir a deficiência desse nutriente, principalmente em solos de textura mais argilosa. No entanto, em solos de textura média a arenosa, o suprimento de zinco para o cafeeiro pode ser realizado via solo ( Malavolta, 1993).

Os nutrientes boro e cálcio são imóveis no floema, razão pela qual o seu suprimento deve ser constante, o que é feito eficientemente via solo. Sendo estes nutrientes imóveis no floema, a sua aplicação foliar apresenta pequena eficiência, visto que a translocação da folha para outras partes da planta é praticamente nula. Para o zinco, a literatura afirma que este nutriente é parcialmente móvel, no entanto, para o cafeeiro, o mesmo apresenta pequena mobilidade, podendo ser classificado como praticamente imóvel (Fávaro, 1992 e Franco, 1997), o que justificaria também recomendar a sua aplicação via solo, neste cultivo.

Muita ênfase tem sido dada, à importância da textura no controle da disponibilidade de zinco, quando este é aplicado via solo. Porém, não é somente a textura do solo que é responsável pela baixa resposta da aplicação de zinco via solo no cafeeiro, mas sim vários outros fatores que já foram descritos no capítulo 1.

Diante da necessidade de conhecer mais detalhadamente alguns dos fatores que impedem a maior eficiência da aplicação de zinco via solo, na

cultura do cafeeiro, o presente trabalho tem por objetivo estudar respostas do cafeeiro, submetido à diferentes doses de zinco no solo, quando cultivado sob diferentes texturas e doses de calcário.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos no período de novembro de 1996 a maio de 1997, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (MG). Foram utilizados três solos, sendo cada solo considerado um experimento.

### **2.1 Amostras de solo**

As amostras dos solos utilizadas foram coletadas nos municípios de Lavras e Itumirim, que se situam nas coordenadas 21°14'30" de latitude Sul e 45° 00'10" de longitude Oeste e 21°19'00" de latitude Sul e 44°52'30" de longitude Oeste, respectivamente. Estes municípios estão situados na região Sul do Estado de Minas Gerais e incluídos no planalto do Alto Rio Grande (Enciclopédia... 1959).

O clima da região enquadra-se, segundo a classificação de Köppen, no tipo Cwa, temperado úmido ( com verão quente e inverno seco), precipitação total do mês mais seco de 23,4 mm e do mês mais chuvoso de 295,8 mm, uma temperatura média do mês mais quente de 22,1°C e a do mês mais frio de 15,8°C, sendo a temperatura médias anual de 19,4°C, a precipitação total anual de 1529,7 mm e a umidade relativa média anual de 76,2% ( Brasil, 1992). As chuvas são mal distribuídas durante o ano, apresentando, segundo Vilela e Ramalho ( 1979) e Castro Neto e Silveira (1981), um excesso de água nos meses de novembro a março e uma deficiência no período de abril a agosto.

Foram utilizadas amostras (camada 0-20 cm ) de três Latossolos. Um Latossolo Vermelho Amarelo, textura média (LVm), com  $290 \text{ mg kg}^{-1}$  de argila, proveniente do Distrito de Macuco, município de Itumirim – MG, que doravante será chamado somente de LVm; um Latossolo Vermelho amarelo, textura argilosa (LV), com  $450 \text{ mg kg}^{-1}$  de argila, proveniente do município de Lavras – MG, que será chamado de LV e um Latossolo Roxo textura muito argilosa (LR), com  $790 \text{ mg kg}^{-1}$  de argila, proveniente do Campus da UFLA, município de Lavras – MG, que será chamado de LR. Essa classe foi escolhida por ser, juntamente com os Podzólicos, as classes de solos onde se localizam a maioria das lavouras cafeeiras do Brasil. O material coletado foi destorroado, homogeneizado, seco ao ar, peneirado em peneira com malha de 5mm de abertura e armazenado em recipientes cobertos até a data de aplicação dos tratamentos. Ao mesmo tempo, foram tomadas sub-amostras que foram passadas em peneira de 2mm de abertura, constituindo a TFSA para caracterização química, física e mineralógica (Tabela 1).

A granulometria dos solos foi determinada pelo método da pipeta (Day,1965), após queima da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio concentrado, empregando-se o NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$  como dispersante químico e agitação rápida. Para a densidade do solo, utilizou-se o método do anel volumétrico, segundo Blake (1965). O pH em água, Ca, Mg, Al, P, K foram determinados segundo Vettori (1969), com modificações da EMBRAPA (1997), em que Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e P e K e B pelo Mehlich I ( $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ). Também foram realizadas as determinações da acidez potencial ( H + Al) e carbono orgânico, conforme Rajj et al., (1987). O micronutriente Zn foi extraído com DTPA e quantificado no extrato por espectrofotometria de absorção atômica.

A caracterização química, física e mineralógica dos três solos estudados encontra-se na Tabela 1.



TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos (camada 0 a 20 cm), utilizados nos experimentos<sup>1/</sup>. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Atributos	LVm	LV	LR
pH <sup>2/</sup>	4,8	5,1	4,6
P <sup>4/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	1	1	2
K <sup>3/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	20	31	33
B <sup>4/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	0,1	0,2	0,2
Zn <sup>5/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	0,9	0,7	0,7
Ca <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,7	0,8	0,7
Mg <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,2	0,2	0,2
Al <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,2	0,7	1,6
H + Al <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7	4,5	11
S <sup>8/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,0	1,1	1,0
t <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,2	1,8	2,6
T <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,7	5,6	12
m %	17	39	62
V %	36	19	8
Areia Grossa <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	40	180	90
Areia Fina <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	640	360	100
Silte <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	30	10	20
Argila <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	290	450	790
Mat. Org. <sup>8/</sup> dag kg <sup>-1</sup>	0,7	1,9	4,6
Ds <sup>9/</sup> dag kg <sup>-1</sup>	1,2	1,1	1,0
Fe <sub>d</sub> <sup>10/</sup> (%) ( Goethita )	1,5	2,7	13,9
Caulinita <sup>11/</sup> (%)	14	78	16
Gibbsita <sup>11/</sup> (%)	8	20	31

1/ Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

2/ pH em água, relação 1: 2,5; 3/ Extrator KCl 1N; 4/ Extrator Mehlich – 1; 5/ Extraído por colorimetria em Dicromato de Sódio; 7/ Método da pipeta, empregando-se NaOH como dispersante químico; 8/ Extraído por DTPA; 9/ Extraído por CaH(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. 2H<sub>2</sub>O com 500 ppm de P em ácido acético ; 10/ Método do anel volumétrico; 11/ Fe livre total foi determinado por Mehra e Jackson (1960) e 11/ Caulinita e gibbsita quantificadas em argila desferrificada através de ATD.

## 2.2 Corretivos e material utilizado

Os corretivos usados nos três solos foram o carbonato de cálcio e de magnésio p.a. Para determinar as doses a serem usadas desses corretivos, foi utilizado o método de incubação proposto por Muzzilli (1974) e Malavolta (1981). O carbonato de cálcio e de magnésio foram adicionadas para se obter uma proporção Ca : Mg de 4:1.

Após obter as doses de corretivos necessárias para atingir o pH desejado, que foram o pH natural de cada solo (dose 0 de corretivo), doses de calcário (1 e 2), necessárias para elevar o pH a 5,5 e 6,5 em cada solo, respectivamente, pesou-se, para cada solo, individualmente, a quantidade de corretivo necessária para cada vaso e procedeu-se a mistura das amostras de solo com o corretivo, vaso por vaso, juntamente com a adubação básica de plantio. Terminada esta operação, adicionou-se água para atingir 70% do Volume Total de Poros (VTP) para facilitar a reação de neutralização. Os solos permaneceram incubados por 23 dias, sendo que, após esta data, foi realizado o plantio das mudas de cafeeiro.

Juntamente com a aplicação dos tratamentos, foi fornecida uma adubação básica para todos os tratamentos, nas seguintes doses :100 mg dm<sup>-3</sup> de N; 100 mg dm<sup>-3</sup> de K e 40 mg dm<sup>-3</sup> de S para todos os solos; o P foi variável de acordo com a textura do solo; 100 mg dm<sup>-3</sup> para o LVm; 150 mg dm<sup>-3</sup> para o LV e 200 mg dm<sup>-3</sup> para o LR.

As fontes dos nutrientes foram as seguintes: fósforo – ( KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>); potássio - ( KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e KCl); nitrogênio – (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>); enxofre – (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); todos sais p.a.. Os micronutrientes fornecidos foram: boro ( 0,8 mg dm<sup>-3</sup>), fonte H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>; Cobre ( 1,5 mg dm<sup>-3</sup> ) , fonte MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O; ferro ( 4 mg dm<sup>-3</sup>), fonte FeCl<sub>2</sub> . 6H<sub>2</sub>O; manganês ( 3,6 mg dm<sup>-3</sup>), fonte MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O e molibdênio ( 0,15 mg dm<sup>-3</sup>), fonte (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> . 4H<sub>2</sub>O, todos também na forma de sais p.a.. O zinco foi o nutriente estudado nestes

experimentos, sendo aplicado na forma de solução, usando com fonte o  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  p.a..

A cultivar de cafeeiro utilizada foi a Mundo Novo, Linhagem LCP 379/19, cujas sementes foram semeadas em germinador contendo areia lavada. Quando as mudas atingiram o estágio de folhas cotiledonares, foram selecionadas, e duas plântulas foram transferidas para cada vaso de plástico, que já haviam recebido a aplicação dos tratamentos.

As características químicas das amostras de solo, após a aplicação dos tratamentos e antes do plantio das mudas de cafeeiro, encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4.

### 2.3 Delineamento experimental

Os experimentos foram instalados segundo o delineamento estatístico de blocos ao acaso (DBC), com 15 tratamentos e quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em esquema fatorial  $5 \times 3$ . Os fatores estudados consistiram de: cinco doses de zinco (variável de acordo com a textura do solo); três doses de calcário (Dose 0, sem calagem; Dose 1, necessária para elevar o pH a 5,5 e Dose 2, necessária para elevar o pH a 6,5 em cada solo); de acordo com a curva de incubação feita para os três solos. Foram usados três Latossolos de diferentes texturas, sendo cada solo considerado um experimento. Cada parcela foi constituída por um vaso com capacidade para  $4 \text{ dm}^3$  de solo. Em cada vaso, foram plantadas duas mudas de cafeeiro.

Experimento 1: Solo LVm. As doses de zinco utilizadas foram 0, 5, 10, 20 e  $40 \text{ mg dm}^{-3}$ . As doses de calcário foram: Dose 0 ( $0 \text{ g dose calcário vaso}^{-1}$ ); dose 1 ( $1,34 \text{ g dose calcário vaso}^{-1}$ ) e doses 2 ( $2,71 \text{ g dose calcário vaso}^{-1}$ ). As doses de calcário aplicadas correspondem: dose 0, o pH natural do solo (4,8); dose 1, quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 5,5 e dose 2

TABELA 2. Atributos do solo ( LVm ), após aplicação dos tratamentos e incubação, antes da repicagem das mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras , MG, 1999.

Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	pH	P	K	B	Zn	Ca	Mg	Al	H + Al	S	t	T	m	V	
		.....mg dm <sup>-3</sup> .....					.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....									
		%														
0	0	4,9	17	120	0,36	0,21	0,7	0,2	0,0	2,1	1,2	1,2	3,3	0,0	36	
	5	4,8	13	112	0,32	3,32	0,5	0,2	0,0	2,1	0,9	0,9	3,0	0,0	33	
	10	4,9	16	112	0,32	6,43	0,6	0,2	0,0	2,3	1,1	1,1	3,4	0,0	32	
	20	4,9	14	103	0,36	12,65	0,5	0,2	0,0	2,3	0,9	0,9	3,2	0,0	30	
	40	4,8	15	100	0,32	25,09	0,5	0,2	0,0	2,3	0,8	0,8	3,1	0,0	31	
1,34	0	5,6	10	105	0,36	0,50	0,8	0,2	0,0	1,7	1,3	4,3	3,0	0,0	42	
	5	5,5	13	117	0,35	2,90	0,8	0,2	0,0	1,9	1,3	4,3	3,2	0,0	41	
	10	5,5	10	123	0,35	5,74	0,8	0,2	0,0	1,7	1,3	4,3	3,0	0,0	44	
	20	5,6	15	101	0,35	11,43	0,8	0,3	0,0	2,1	1,3	4,3	3,4	0,0	40	
	40	5,5	15	103	0,39	22,82	0,8	0,3	0,0	2,1	1,2	1,2	3,3	0,0	41	
2,71	0	6,6	15	129	0,39	0,51	0,9	0,7	0,0	1,7	1,9	1,9	3,6	0,0	54	
	5	6,5	15	112	0,39	2,78	0,9	0,7	0,0	1,7	1,9	1,9	3,6	0,0	52	
	10	6,5	17	106	0,39	5,04	0,8	0,8	0,0	1,7	1,9	1,9	3,6	0,0	52	
	20	6,6	16	89	0,39	9,58	0,9	0,6	0,0	1,7	1,7	1,7	3,4	0,0	51	
	40	6,5	23	98	0,39	18,66	0,9	0,6	0,0	1,9	2,0	2,0	3,5	0,0	50	

<sup>1/</sup> pH em água relação 1:2,5. <sup>2/</sup> Extrator Mehlich I<sup>3/</sup> Extrator KCl 1M. <sup>4/</sup> Extraído por colorimetria em Dicromato de Sódio.

TABELA 3. Atributos do solo ( LV ) , após aplicação dos tratamentos e incubação, antes da repicagem das mudas de caféiro. UFLA, Lavras , MG, 1999.

Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	pH	P	K	B	Zn	Ca	Mg	Al	H + Al	S	t	T	m	V
		.....mg dm <sup>-3</sup> .....					.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					%			
0	0	5,1	28	178	0,48	1,40	0,9	0,5	0,3	5,6	1,9	2,2	7,5	14	25
	5	5,2	30	140	0,49	3,60	0,8	0,4	0,3	6,3	1,6	1,9	7,9	16	20
	15	5,1	26	142	0,49	9,53	0,8	0,3	0,3	5,6	1,4	1,7	7,0	18	21
	30	5,0	22	115	0,39	19,13	0,7	0,3	0,4	7,0	1,2	1,6	8,2	25	16
	60	5,2	29	140	0,37	38,30	0,8	0,3	0,3	6,3	1,2	1,5	7,5	20	19
4,49	0	5,7	29	172	0,53	1,13	2,8	0,5	0,0	3,6	3,7	3,7	7,3	0	51
	5	5,8	28	133	0,53	2,07	2,8	0,6	0,0	3,6	3,7	3,7	7,3	0	51
	15	5,7	29	140	0,53	8,73	2,6	0,8	0,0	3,6	3,8	3,8	7,4	0	51
	30	5,6	29	136	0,60	14,60	2,6	0,9	0,0	3,6	3,8	3,8	7,4	0	52
	60	5,6	29	168	0,65	24,33	2,4	0,9	0,0	3,6	3,7	3,7	7,3	0	51
12,04	0	6,4	30	160	0,66	1,10	4,8	1,1	0,0	2,1	6,3	6,3	8,4	0	75
	5	6,7	28	171	0,60	1,97	4,7	1,0	0,0	1,9	6,1	6,1	8,0	0	77
	15	6,6	31	119	0,60	5,60	4,8	1,0	0,0	2,1	6,2	6,2	8,3	0	74
	30	6,5	28	122	0,60	11,30	4,8	0,9	0,0	2,1	6,0	6,0	8,1	0	74
	60	6,5	28	133	0,68	19,10	4,5	1,5	0,0	2,1	6,3	6,3	8,4	0	75

<sup>1/</sup> pH em água relação 1:2,5. <sup>2/</sup> Extrator Mehlich I <sup>3/</sup> Extrator KCl 1M. <sup>4/</sup> Extraído por colorimetria em Dicromato de Sódio.

TABELA 4. Atributos do solo ( LR ), após aplicação dos tratamentos e incubação, antes da repicagem das mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras , MG, 1999.

Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	pH	P	K	B	Zn	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	T	m	V
		.....mg dm <sup>-3</sup> .....					.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....					%			
0	0	5,1	33	196	0,67	2,37	1,4	0,2	1,7	12,3	2,2	3,9	14,5	44	15
	10	5,1	33	166	0,67	8,60	1,4	0,2	1,8	12,3	2,2	4,0	17,3	45	12
	20	5,2	29	162	0,60	14,60	1,4	0,3	1,6	12,3	2,2	3,8	14,5	42	15
	40	5,0	36	136	0,52	25,30	1,3	0,2	1,9	12,7	2,2	4,1	14,9	47	12
	80	5,2	41	131	0,52	47,30	1,5	0,2	1,9	12,3	2,2	4,1	14,5	47	14
11,44	0	5,8	37	188	0,51	3,40	5,4	1,1	0,3	7,0	7,1	7,4	14,1	4	50
	10	5,6	27	156	0,65	6,17	5,3	1,8	0,4	6,3	7,7	8,1	14,0	5	54
	20	5,6	27	166	0,55	12,23	5,1	1,7	0,4	7,0	7,4	7,8	14,4	5	50
	40	5,6	29	139	0,55	20,70	5,2	1,5	0,3	7,0	7,2	7,5	14,2	4	50
	80	5,6	29	137	0,55	40,73	5,4	1,4	0,4	7,9	7,3	7,7	15,2	5	47
24,14	0	6,5	27	180	0,55	2,13	7,2	2,5	0,0	4,0	10,3	10,3	14,3	0	72
	10	6,6	25	174	0,51	4,07	7,3	2,7	0,0	5,6	10,6	10,6	16,2	0	64
	20	6,7	23	160	0,55	6,63	6,9	3,0	0,0	4,0	10,5	10,5	14,5	0	71
	40	6,6	25	148	0,41	15,43	7,4	2,5	0,0	4,0	10,5	10,5	14,5	0	71
	80	6,5	27	112	0,55	29,40	7,4	2,3	0,0	4,0	10,5	10,5	14,3	0	70

<sup>1/</sup> pH em água relação 1:2,5. <sup>2/</sup> Extrator Mehlich I <sup>3/</sup> Extrator KCl 1M. <sup>4/</sup> Extraído por colorimetria em Dicromato de Sódio.

quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 6,5.

**Experimento 2:** Solo LV. As doses de zinco utilizadas foram 0, 5, 15, 30 e 60 mg dm<sup>-3</sup>. As doses de calcário foram: Dose 0 ( 0 g dose calcário vaso<sup>-1</sup> ); dose 1 ( 4,49 g dose calcário vaso<sup>-1</sup> ) e doses 2 ( 12,04 g dose calcário vaso<sup>-1</sup> ). As doses de calcário aplicadas correspondem: dose 0, o pH natural do solo (5,1); dose 1, quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 5,5 e dose 2, quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 6,5.

**Experimento 3:** Solo LR. As doses de zinco utilizadas foram 0, 10, 20, 40 e 80 mg dm<sup>-3</sup>. As doses de calcário foram: Dose 0 ( 0 g dose calcário vaso<sup>-1</sup> ); dose 1 ( 11,44 g dose calcário vaso<sup>-1</sup> ) e doses 2 ( 24,14 g dose calcário vaso<sup>-1</sup> ). As doses de calcário aplicadas correspondem: dose 0, o pH natural do solo (4,6); dose 1, quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 5,5 e dose 2, quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 6,5.

As doses de zinco foram estabelecidas de acordo com a textura de cada solo na expectativa de abranger a faixa da deficiência até a toxidez desse micronutriente para o cafeeiro, semelhante ao realizado por Couto et al. (1992) ao estudar doses de zinco, solos de diferentes texturas, com a cultura do milho.

## 2.4 Condução do experimento

A umidade dos vasos foi mantida em 60% da VTP, conforme recomendado por Freire et al. (1980), aferida diariamente pela pesagem dos mesmos. A primeira adubação de cobertura com N foi feita 40 dias após a repicagem das mudas e repetidas a cada mês, totalizando quatro aplicações. Como fonte de N foi utilizado o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e, em uma das aplicações, o Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O para fornecer cálcio às plantas, pois na dose 0 de calcário esse nutriente encontrava-se muito baixo. Em cada adubação de cobertura foram aplicados 30 mg de N dm<sup>-3</sup>.

Aos cento e oitenta dias após a repicagem, as plantas foram colhidas.

## **2.5 Características avaliadas**

As características avaliadas para os três experimentos foram:

- **Altura da planta; Diâmetro do caule; Área foliar; Comprimento do 2º e do 5º internódios; Matéria seca das raízes, caules e folhas.**
  - **Teores e quantidades acumuladas dos nutrientes ( N; P; K; Ca; Mg; S; B; Cu; Fe; Mn e Zn) em cada parte da planta (folha, caule e raiz).**
  - **Teor de nutrientes no solo.**
- a) **Altura da planta – do colo até ao ponto de inserção do broto terminal (ortotrópico). A medida foi obtida em centímetros, obtendo-se a média das duas plantas.**
  - b) **Diâmetro do caule – foi medido, com o auxílio de um paquímetro, no ponto imediatamente abaixo da inserção das folhas cotiledonares, o que corresponde a aproximadamente 3 cm dos solo, obtendo-se o diâmetro médio das duas plantas da parcela.**
  - c) **Área foliar (AF) – foi medida, em centímetros quadrados, tomado-se o maior comprimento ( C ) e a maior largura ( L ) de uma folha de cada par de folhas, sem considerar o pecíolo. De posse dos dados, aplicou-se a fórmula proposta por Huerta (1962) e Barros el al. (1973) e confirmada por Gomide el al. (1977). Também neste caso foi considerado o valor médio das duas plantas para representar a parcela.**
  - d) **Comprimento do segundo e quinto internódios – foram determinados também com o auxílio de uma régua milimetrada. O comprimento do segundo internódio foi medido quando as plantas já apresentavam o terceiro par de folhas verdadeiras, o que implica em dizer que o segundo internódio tinha completado o seu desenvolvimento. O mesmo procedimento foi adotado, quando as plantas apresentavam o sexto par de**



folhas verdadeiras, para medir o comprimento do quinto internódio médio das duas plantas da parcela.

- e) **Peso da matéria seca (Folha, Caule e Raiz)** – cortou-se a parte aérea das plantas de cafeeiro rente ao solo, separando-as em caule e folha, que após lavagem em água de torneira e destilada foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada, a 70°C, até a obtenção do peso constante. Posteriormente, esse material foi pesado, moído em moinho tipo Wiley e analisado nutricional. As raízes foram separadas do solo, submetidas ao mesmo procedimento dispensado à parte aérea, até análise química das mesmas.

### **2.5.1 Análises químicas da matéria seca**

As determinações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na folha, caule e raiz foram efetuadas segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os extratos de matéria seca dos tecidos foram obtidos por digestão nitroperclórica, exceto para o nutriente B, cuja digestão foi por via seca e determinado pelo método da curcumina. O P foi determinado por colorimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; K por fotometria de chama e S por turbidimetria. Os teores de N foram determinados pelo método de Kjeldahl.

A quantidade de nutrientes acumulados na parte aérea, bem como nas raízes de plantas de cafeeiro, foi calculada com base no teor dos mesmos nos tecidos e na produção de matéria seca de cada órgão.

A eficiência de utilização de nutrientes foi calculada pelo índice proposto por Siddiqi e Glass (1981), definido pela expressão  $E = W/C$  onde  $C = Q/W$ ; E = eficiência de utilização; W = matéria seca total; C = concentração do nutriente no tecido e Q = quantidade do nutriente na biomassa.

De posse do conteúdo dos vários nutrientes na parte aérea e no sistema

radicular das plantas de cafeeiro, segundo os tratamentos, foram calculados os seguintes parâmetros:

a) % de Recuperação do Nutriente Aplicado:

$$\frac{\text{Conteúdo do nutriente na planta fertilizada} - \text{Conteúdo do nutriente na testemunha}}{\text{Quantidade do nutriente aplicado, via fertilizante}} \times 100$$

b) Eficiência de Absorção do Nutriente:

$$\frac{\text{Conteúdo do Nutriente na Planta (raiz + caule + folha)}}{\text{Matéria Seca da raiz}}$$

c) % de Translocação do Nutriente:

$$\frac{\text{Conteúdo do Nutriente na Parte Aérea}}{\text{Conteúdo do Nutriente na Planta (raiz + caule + folha)}} \times 100$$

d) Eficiência de Utilização do Nutriente (Siddiqi e Glass, 1981):

$$\frac{[\text{Matéria Seca Parte Aérea (caule + folha)}]^2}{\text{Quantidade do Nutriente na Biomassa (caule + folha)}}$$

## 2.5.2 Análises químicas do solo


### 2.5.2 Análises químicas do solo

Os teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn mais pH (água),  $Al^{+3}$  e acidez potencial, foram determinados em amostras de solo após a incubação com os tratamentos, por ocasião da repicagem das mudas. As determinações foram feitas de acordo com metodologias descritas por Vettori (1969), com modificações (EMBRAPA, 1997). O S foi extraído com fosfato de cálcio dihidratado e o B com água quente, segundo metodologia descrita por Rajj et al. (1987).

## 2.6 Análise estatística

As características estudadas foram submetidas à análise de variância, e posteriormente aos estudos de regressão polinomial, cujas equações foram ajustadas às médias de produção de matéria seca, área foliar, diâmetro do caule, altura das plantas e comprimento do segundo e quinto internódios, em função das doses de Zn aplicadas. A partir das equações obtidas, estimaram-se as doses de Zn para a produção máxima de matéria seca da parte aérea (MSPA) e 90% da máxima, para cada solo. Substituindo-se as doses que proporcionaram 90% da máxima MSPA nas equações de regressão que relacionam as doses de Zn aplicadas aos solos com seus teores disponíveis pelo extrator DTPA, estimaram-se os níveis críticos de Zn em cada solo. Da mesma forma, foram estimados os níveis críticos de Zn na parte aérea das mudas de cafeeiro, pela substituição das doses de Zn correspondentes nas equações de regressão que relacionam as doses de Zn aplicadas, com seus teores na parte aérea do cafeeiro na época da colheita.

As análises de variância, bem como as equações de regressão ajustadas, foram efetuadas utilizando-se os programas estatísticos SANEST (Universidade Federal de Pelotas), conforme cópia apresentada por Sarriés, Oliveira e Alves (1992) e o programa estatístico SAEG (Universidade Federal de Viçosa), conforme cópia apresentada por Euclides (1983). Não foi necessário submeter



os dados a transformações devido à homocedasticidade e normalidade dos mesmos, verificados através do programa SAEG.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Atributos dos solos usados nos experimentos**

Pela Tabela 1 pode-se observar que os solos usados são muito diferentes entre si, apresentando grande variabilidade nos atributos físicos, químicos e mineralógicos. Dentre esses, textura, matéria orgânica e CTC são atributos que mais afetam a disponibilidade de Zn para as plantas.

A análise química dos solos após incubação com as doses de Zn e de calcário aplicadas é apresentada nas Tabelas 2, 3 e 4. Os teores de Zn disponível (DTPA) variaram entre os solos, mostrando influência das doses de Zn diferenciadas que foram aplicadas, da quantidade de calcário, que também foi diferente para cada solo, e dos atributos do solo na disponibilidade deste micronutriente.

Verifica-se ainda, pelas Tabelas 2, 3 e 4, que após a aplicação dos tratamentos, houve diferenças muito grandes entre os solos quanto às seguintes características: pH; teores de Ca e Mg, saturação por Al e por bases e CTC.

O teor de zinco disponível no solo, pelo extrator DTPA, foi crescente para as doses de zinco aplicadas e para as três doses de calcário estudadas nos três solos. No entanto, houve uma extração diferencial para cada faixa de pH, sendo de maior magnitude na condição original do solo ( Dose 0 de calcário); seguida da Dose 1, para elevar o pH a 5,5 e dose 2, para elevar o pH a 6,5, respectivamente.

A quantidade de zinco recuperada em função das doses adicionadas, em cada dose de calcário aplicada, é o reflexo da importância do pH, teores de Ca e

Mg, saturação de alumínio e por bases, CTC e do teor de matéria orgânica, na disponibilidade de zinco para as plantas. Em estudo conduzido por Oliveira (1998), o aumento do pH do solo causou forte decréscimo no fluxo difusivo de zinco. Resultado semelhante foi conseguido, em solução nutritiva, por Moyses (1988), em que a autora encontrou que o pH da solução nutritiva interferiu na absorção de zinco, em plantas de cafeeiro. A diferença de magnitude na recuperação do zinco aplicado, nas três doses de calcário atingidas, é baseada em diversos trabalhos em que diferentes autores, trabalhando com doses de zinco e pH, obtiveram também diminuição do zinco recuperado com o aumento do pH (Santos, 1971; Lindsay, 1991; Galvão e Mesquita Filho, 1981; Yengar et al. 1981; Machado e Pavan, 1987; Couto et al., 1992; Menezes, 1998). A maior elevação do pH pode ter favorecido a formação de compostos menos solúveis, como  $Zn(OH)_2$  e  $ZnCO_3$ , ocorrendo, também maior adsorção de Zn no complexo coloidal do solo pelo aumento das cargas dependentes de pH e da CTC (Bar-Yosef, 1979). Quanto à matéria orgânica, os solos com maior teor de matéria orgânica (Tabela 1) apresentam uma tendência mais acentuada à formação de complexos organo-metálicos, importante mecanismo na diminuição da atividade de Zn nos solos, principalmente por interações com ácidos húmicos e fúlvicos (Tisdale, Nelson e Beaton, 1985 e Hamilton, Westermann e James, 1993).

Lindsay (1979) e Malavolta (1996) comentam que a disponibilidade de zinco decresce 100 e 30 vezes, respectivamente, com o aumento de uma unidade no pH, principalmente quando este se encontra na faixa de 5 e 7. No entanto, neste trabalho, a diminuição da disponibilidade de zinco, com a elevação do pH, não foi tão elevada como descrevem os referidos autores (Tabelas 2, 3 e 4).

O pH do solo pode exercer um efeito indireto na disponibilidade de Zn por afetar a atividade microbiológica do solo. Siqueira e Franco (1988) afirmam que a matéria orgânica é uma importante fonte de zinco para os solos das regiões

tropicais. Essa informação corrobora os dados de Malavolta (1980), de que 60% do zinco disponível na solução do solo ocorre na forma de complexos orgânicos solúveis. Nos três solos estudados, existem diferenças nos teores de matéria orgânica entre os mesmos, como pode ser verificado pela Tabela 1. A maior quantidade de matéria orgânica pode ser benéfica com fonte de zinco, porém a sua capacidade de formar compostos menos solúveis com este micronutriente pode ter influenciado na disponibilidade de zinco, para cada solo.

Outro fator a ser considerado é a textura do solo, bem distinta entre os três solos estudados (Tabela 1). Após adicionar zinco em quantidades idênticas a solos de diferentes texturas, Couto et al. (1992) e Consolini (1998) observaram que a recuperação do elemento por um mesmo extrator foi menor nos solos argilosos do que nos solos de textura mais arenosa, sugerindo adsorção de zinco pelas partículas de argila. Isto implica em dizer que para uma mesma disponibilidade de zinco, os solos argilosos requerem maiores doses deste nutriente comparados com solos de textura mais grosseira, embora os solos argilosos apresentem maior capacidade de suprir o nutriente ao longo do cultivo, denominado de fator capacidade do solo.

### 3.2 Características de crescimento

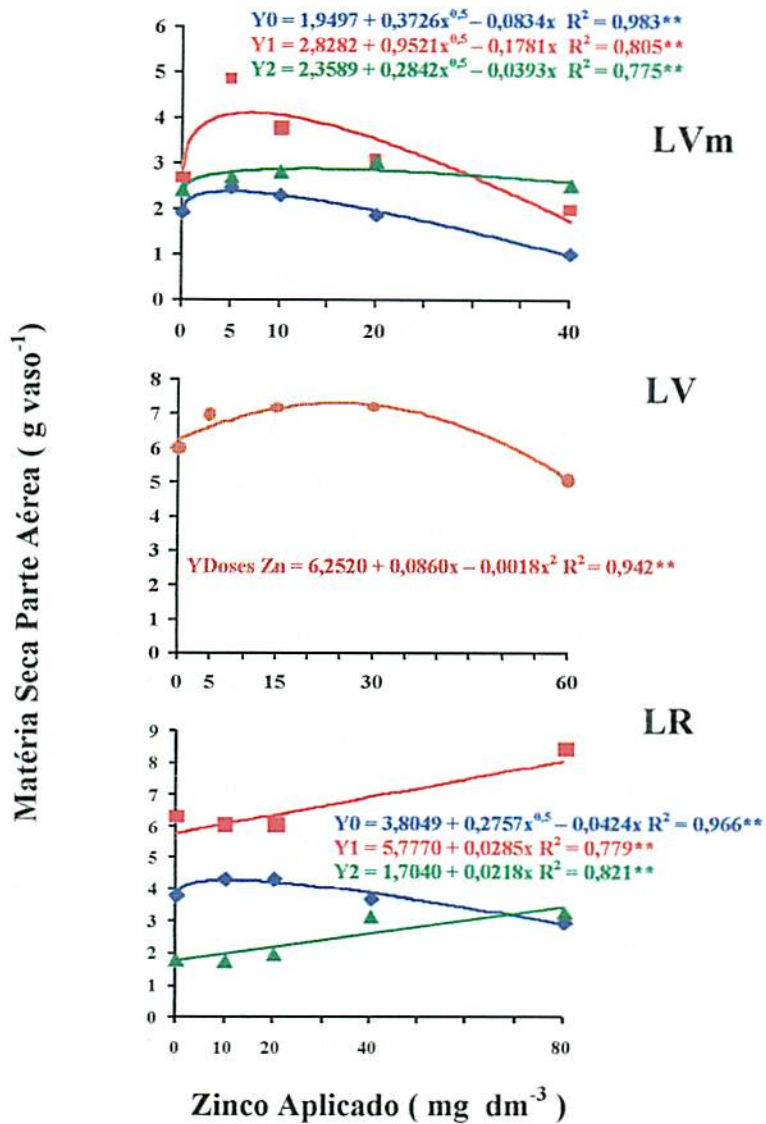
A análise de variância para matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca total (MST); matéria seca foliar (MSF); matéria seca raiz (MSR); altura da planta (AP); diâmetro do caule (DC); área foliar (AF); comprimento do segundo internódio (CSI) e comprimento do quinto internódio (CQI) mostrou que as doses de Zn e de calcário aplicadas influenciaram significativamente ( $P < 0,05$ ) quase todas as características analisadas em cada solo estudado. Para a interação doses de Zn x doses de calcário, houve interação significativa para a maioria das características avaliadas nos solos LVm e LR, enquanto, para o solo LV, só houve efeito para o comprimento do 5º internódio ( Tabelas 2A, 2B e 2C do

Anexo).

Com relação à produção de matéria seca da parte aérea, MSPA (folha + caule), observa-se que a interação doses de zinco x doses de calcário influenciou esta característica de modo distinto para os três solos. Para as plantas crescidas no solo LVm, as equações base raiz quadrada foram as que melhor se ajustaram à produção de MSPA, em relação às doses de zinco aplicadas ( Figura 1). Para o solo LV, não houve efeito da interação na produção de MSPA somente das doses de zinco aplicadas. E para o LR, o ajuste foi raiz de x para a dose 0 de calcário aplicada e linear para as doses 1 e 2 de calcário. Apesar deste comportamento diferenciado, de um modo geral o valor da interseção da regressão mostra que a maior produção de matéria seca, foi alcançada na dose 1 de calcário, que corresponde ao pH 5,5 para os solos LVm e LR.

Quanto à produção de matéria seca total (MST), na Figura 2, verifica-se que houve efeito da interação doses de zinco x doses de calcário aplicadas para os três solos estudados. As respostas quadráticas encontradas para os LVm e LV na produção de MST indicam aumentos significativos na produção de matéria seca com a aplicação das doses iniciais de zinco. Após atingir um ponto máximo, a produção decresce em resposta às doses mais altas, indicando o efeito tóxico do nutriente. Dessa forma, as menores produções de MSPA e MST, observadas nas doses zero (sem aplicação de Zn) e nas maiores doses adicionadas deste nutrientes, são justificadas pelo aparecimento da deficiência e toxicidade de Zn, respectivamente, uma vez que apareceram sintomas típicos da carência e excesso do micronutriente nas plantas. Este padrão de resposta, nestes dois solos, sugere grande comprometimento na produção de matéria seca de mudas de cafeeiro, em solos com baixo teor de zinco disponível, bem como sob aplicação de altas doses deste micronutriente.

Para o solo LR, a equação quadrática base raiz quadrada foi a que melhor se ajustou à produção de MSPA e MST na dose 0 de calcário aplicada

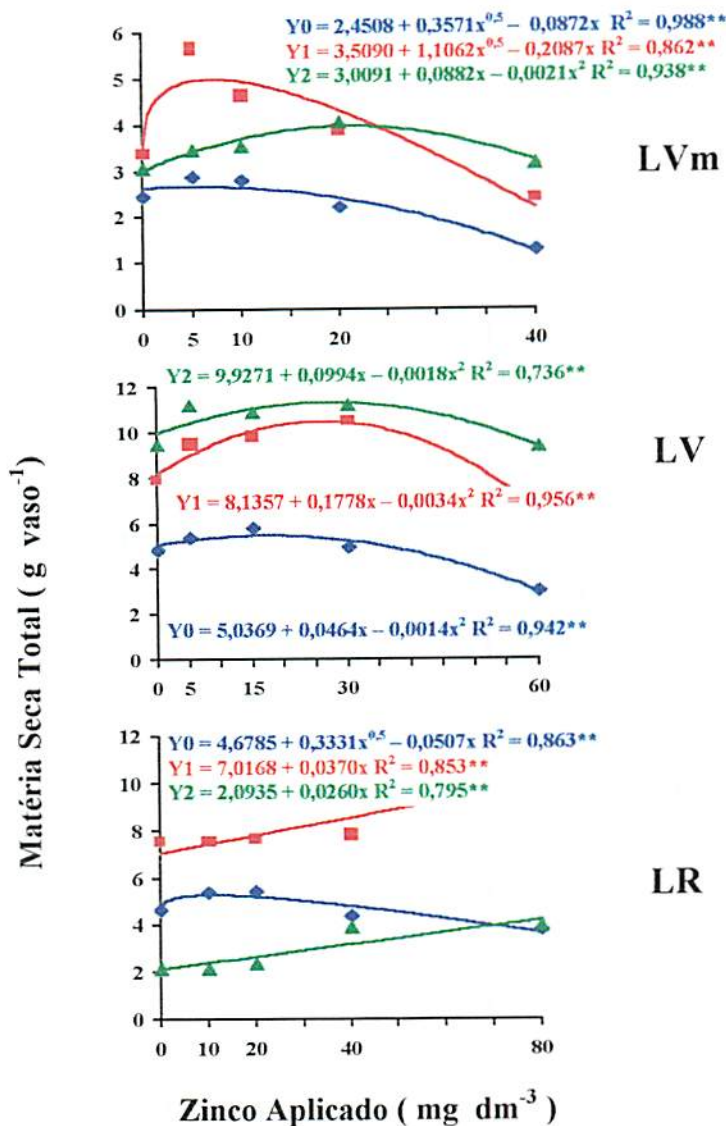


Y0 = calcário 0 ( ◆ ); Y1 = calcário 1 ( ■ ); Y2 = calcário 2 ( ▲ )

FIGURA 1. Matéria seca da parte aérea de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.





Y0 = calcário 0 (◆); Y1 = calcário 1 (■); Y2 = calcário 2 (▲)

FIGURA 2. Matéria seca total de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

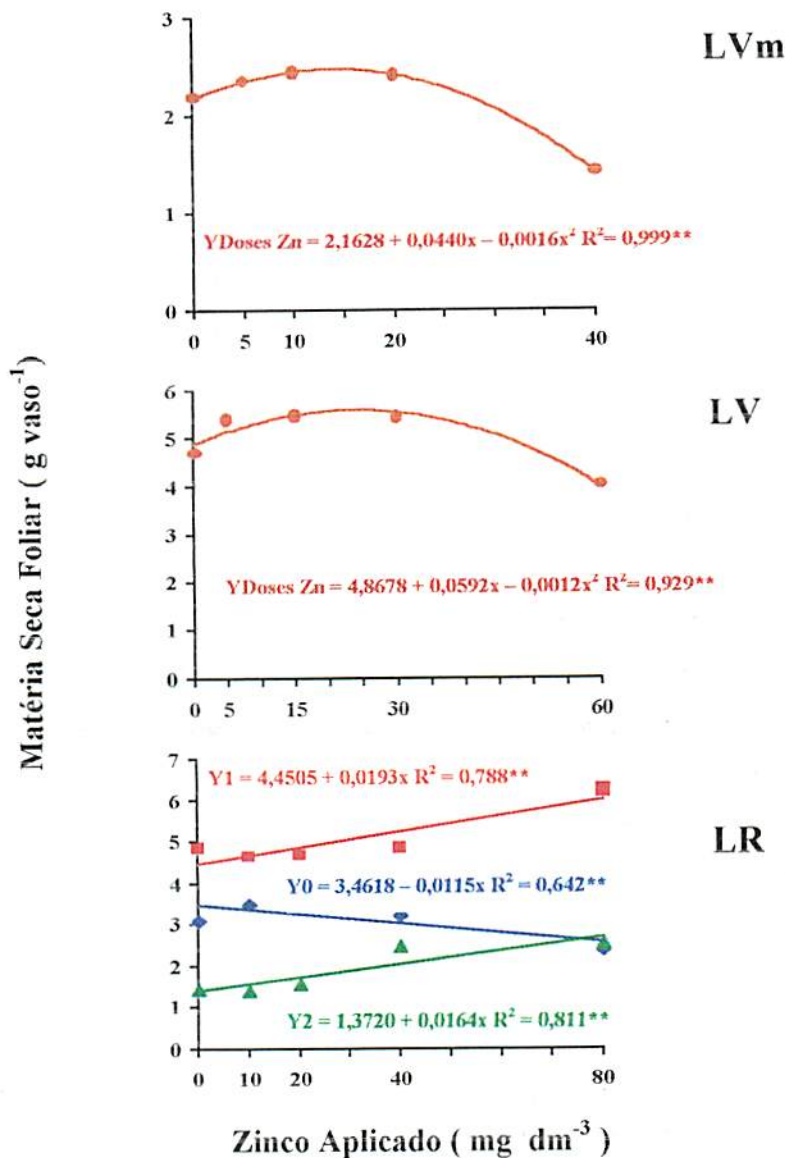
\*\* Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.

(Figuras 1 e 2). Para as demais doses de calcário aplicadas neste solo (doses 1 e 2), nas doses de zinco adicionadas, as plantas mostraram resposta linear, conforme mostram estas mesmas Figuras (1 e 2), ou seja, maior produção de matéria seca com a elevação das doses de zinco estudadas. No entanto, como mostram os valores de interseção da regressão, as maiores produções de MSPA e MST para este solo também ocorreram com a aplicação da dose de calcário 1, o que corresponde a um pH em torno de 5,5 nos três solos estudados.

Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o processo de absorção radicular de zinco é favorecido por um pH do meio em torno de 6 e diminui muito quando o pH está perto de 3. A explicação mais provável para a obtenção de maiores produções de matéria seca no pH 5,5 é que nesta faixa de pH, o zinco está mais prontamente disponível para as plantas.

As respostas distintas para cada dose de calcário aplicada na produção de MSPA e MST, nos diferentes solos, mostram que a calagem, ao modificar o pH do solo, a saturação por bases e por alumínio e a CTC interferiram na disponibilidade de zinco para as mudas de cafeeiro. Este comportamento corrobora as afirmações descritas na literatura de que além do pH, outros atributos do solo exercem fundamental importância na disponibilidade de zinco para as plantas (Couto et al. 1992).

No entanto, para a matéria seca foliar e das raízes ( Figuras 3 e 4 respectivamente), a interação doses de Zn X doses de calcário não foi significativa para os solos LVm e LV, havendo respostas positivas apenas, para as doses de zinco aplicadas. Quando foi analisada a parte aérea ( folha + caule), houve efeito da interação doses de zinco X doses de calcário. Porém, ao analisar somente a matéria seca foliar, a referida interação não foi significativa. Tal fato é explicado pela grande quantidade de zinco acumulada no caule, encontrada neste experimento ( Tabela 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Franco (1997) ao estudar a compartimentalização de zinco em plantas de



Y0 = calcário 0 ( ◆ ); Y1 = calcário 1 ( ■ ); Y2 = calcário 2 ( ▲ )

FIGURA 3 – Matéria seca foliar de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\*Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.

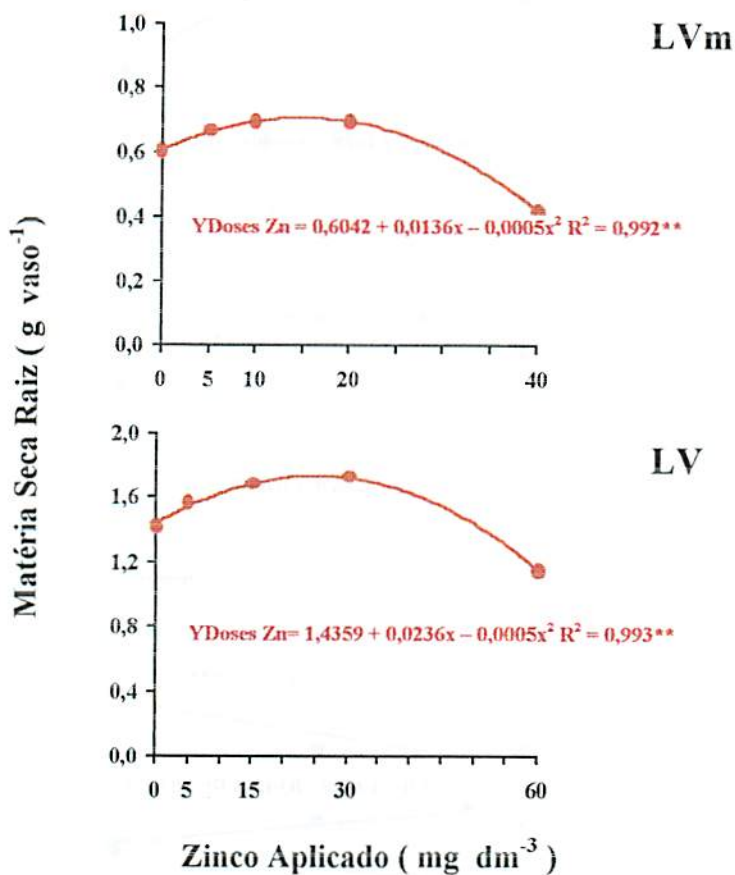


FIGURA 4. Matéria seca de raízes de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de zinco aplicadas via solo, em dois Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.

**TABELA 5. Teor de zinco na matéria seca da folha, caule e raiz de mudas de cafeeiro, em função de doses de Zn, considerando as doses de calcário aplicadas ( Doses ) e os três solos estudados. UFLA, Lavras , MG, 1999.**

Solo	Doses	Doses de Zn ( mg dm <sup>-3</sup> )														
		0			5			10			20			40		
		Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz
		..... mg kg <sup>-1</sup> .....														
LVm	Dose 0	10,43	17,97	130,07	10,54	21,48	1403,79	12,87	119,21	3024,82	14,11	236,50	4356,23	253,48	539,00	3885,23
	Dose 1	11,35	18,81	78,10	11,64	18,88	811,02	15,03	155,69	1949,50	20,78	225,50	3489,82	189,64	429,00	4578,56
	Dose 2	11,07	18,92	75,55	12,33	19,23	294,16	12,84	28,52	612,08	17,66	170,50	999,68	27,87	346,50	2819,49
<b>DMS 1% : Doses de Zn x Doses de Calc. : Folha = 138,31 mg kg<sup>-1</sup> CV = 46,97% ; Caule = 36,66 mg kg<sup>-1</sup> CV = 9,45% ; Raiz = 612,59 mg kg<sup>-1</sup> CV = 13,11%</b>																
LV	Doses	0			5			15			30			60		
		Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz
LV	Dose 0	15,54	19,78	435,60	13,71	28,31	931,52	12,61	133,59	2777,87	16,14	241,41	6328,67	61,73	434,50	8316,00
	Dose 1	12,54	19,61	76,74	13,54	17,45	234,16	13,77	70,09	598,54	16,96	140,98	1154,04	34,40	404,21	3088,43
	Dose 2	11,89	20,35	64,58	11,68	19,52	39,83	13,28	19,06	128,96	15,09	17,75	199,38	15,58	43,82	312,26
<b>DMS 1% : Doses de Zn x Doses de Calc. : Folha = 17,84 mg kg<sup>-1</sup> CV = 39,08% ; Caule = 53,80 mg kg<sup>-1</sup> CV = 20,13% ; Raiz = 1504,13 mg kg<sup>-1</sup> CV = 37,16%</b>																
LR	Doses	0			10			20			40			80		
		Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz
LR	Dose 0	11,80	31,81	583,83	13,12	60,58	2505,62	12,67	80,90	3366,00	15,21	209,00	6479,00	21,27	484,00	7955,00
	Dose 1	-	19,75	48,84	-	34,40	223,30	-	50,24	373,31	-	92,59	492,71	-	121,05	994,13
	Dose 2	-	16,21	26,36	-	24,02	33,77	-	26,93	41,03	-	38,15	92,35	-	41,60	203,50
<b>DMS 1% : Doses de Zn x Doses de Calc. : Folha = 2,94 mg kg<sup>-1</sup> CV = 25,84% ; Caule = 26,70 mg kg<sup>-1</sup> CV = 12,23% ; Raiz = 854,45 mg kg<sup>-1</sup> CV = 22,25%</b>																

cafeeiro, mostrando que o caule é uma parte da planta muito importante para o armazenamento de zinco.

Para o solo LR, a interação doses de zinco X doses de calcário foi significativa (Figura 3), mostrando que, para este solo, as doses de calcário estudadas interferiram de modo significativo no crescimento das folhas de mudas de cafeeiro. No entanto, para a produção de raízes, neste solo, a referida interação não foi significativa.

De um modo geral, a queda de produção de biomassa em todas as doses de calcário aplicadas, para as doses mais elevadas de zinco, pode estar associada ao efeito tóxico deste nutriente. Amaral et al. (1997), estudando fontes e doses de zinco na formação e produção de cafeeiros, em solo LV distrófico com A Húmico, concluíram que o sulfato de zinco, na dosagem de 20,0 gramas por cova, foi fitotóxico, reduzindo a produtividade do cafeeiro em 10%. Grillo e SiLV (1985) induziram toxidez de Zn em mudas de cafeeiro cultivadas em vasos fornecendo 100 mg kg<sup>-1</sup> do elemento. As raízes apresentaram mais de 300 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e as folhas mais de 100 mg kg<sup>-1</sup>. No presente trabalho, para os três solos estudados foram observados sintomas de toxidez nas maiores doses aplicadas, na faixa de pH natural do solo. Observa-se, na Tabela 5, que na maior dose de zinco estudada a concentração deste nutriente nas folhas estava acima de 250 mg kg<sup>-1</sup> na ausência de calcário, ou seja, no pH natural, para o solo LVm. Nesta mesma condição (dose 0 de calcário), os teores de zinco estiveram acima de 60 e 20 mg kg<sup>-1</sup> para os solos LV e LR, respectivamente. Ressalta-se que a concentração adequada de zinco na folha do cafeeiro adulto encontra-se na faixa de 10 a 20 mg kg<sup>-1</sup> (Malavolta 1993). Malavolta (1986) cita que têm sido observados sintomas de toxidez de zinco em plantas adultas, quando as folhas de cafeeiro apresentam cerca de 50 mg kg<sup>-1</sup>. Deve ser levado em consideração que os teores adequados ou tóxicos, citados na literatura, são calculados analisando-se o 3º ou 4º pares de folhas de ramos localizados a uma altura mediana da planta

adulta e em todos os quadrantes. No presente estudo, todas as folhas foram colhidas, moidas e analisadas quimicamente enquanto , as plantas ainda estavam na fase de mudas. Portanto, recomendam-se cuidados na comparação entre os dados citados na literatura com os obtidos neste trabalho, pois as plantas encontravam-se em estágio de desenvolvimento distinto.

A diminuição no crescimento e produção das plantas de cafeeiro em função de teores elevados de zinco foram observados por Silva ( 1979); Guimarães et al. (1983); Grillo e Silva (1985) e Fávoro (1992). A diminuição da produção e do crescimento devido ao excesso de zinco é provavelmente decorrente da menor translocação de fotoassimilados, pois há interferência do excesso de zinco no carregamento do floema, impedindo a translocação de fotoassimilados para as principais partes da planta ( Fávoro, 1992).

Para Malavolta, Vitti e Oliveira ( 1997), a toxidez se manifesta pela diminuição da área foliar, seguida de clorose e pode aparecer na planta toda um pigmento pardo-avermelhado, provavelmente um fenol. Outra consequência da toxidez, ou excesso de zinco, é a diminuição da absorção de P. No xilema de algumas espécies de plantas que apresentam sintomas de toxidez, acumulam-se tampões, contendo zinco, que dificultam a ascensão da seiva bruta.

Na Figura 5 encontram-se, sintomas da toxidez de zinco obtidas neste trabalho. Foram obtidos sintomas de toxidez, em todos os solos principalmente, nas doses mais elevadas de zinco aplicadas, na ausência de calagem, ou seja, no pH natural de cada solo. Pode-se observar que na faixa de pH natural dos solos, o pH encontrava-se, abaixo de 5 (Tabela 1).

Para as demais características de crescimento avaliadas: altura das plantas ( Figura 5); diâmetro médio do caule (Figura 6); área foliar (Figura 7) e comprimento do 5º internódio (Figura 9), houve interação significativa entre as doses de zinco aplicadas e as doses de calcário. As respostas obtidas, de um modo geral foram semelhantes às encontradas para matéria seca da parte aérea e

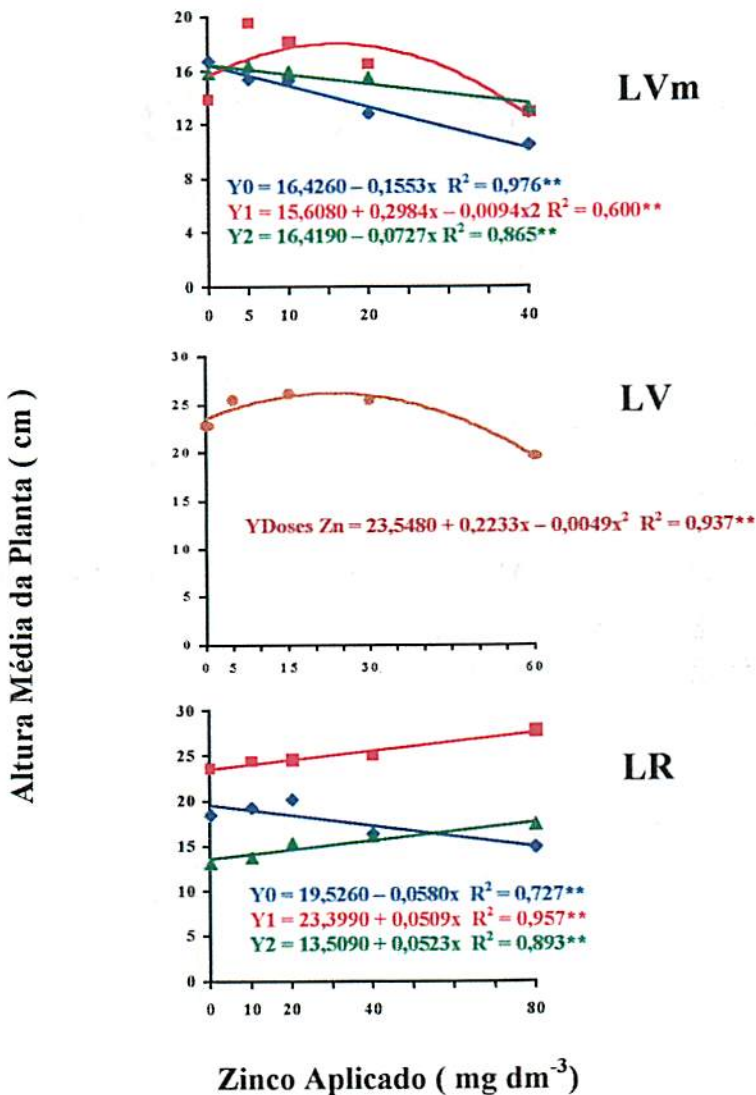


**FIGURA 5.** Detalhe da toxidez de zinco em mudas de cafeeiro, na dose de  $60 \text{ mg dm}^{-3}$ , 7 meses após a repicagem, em Latossolo Vermelho Amarelo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

total, já discutidas anteriormente. Para a característica comprimento do 2º internódio, as respostas só foram significativas para as doses de zinco aplicadas (Figura 8).

Consolini (1998), estudando a distribuição e disponibilidade de zinco em solos representativos do Estado de São Paulo, tendo com planta teste o milho, observou aumento nos teores do nutriente na parte aérea da planta em resposta à adição de doses crescentes de zinco, sem contudo verificar incrementos significativos na produção de matéria seca da planta, indicando, assim, um

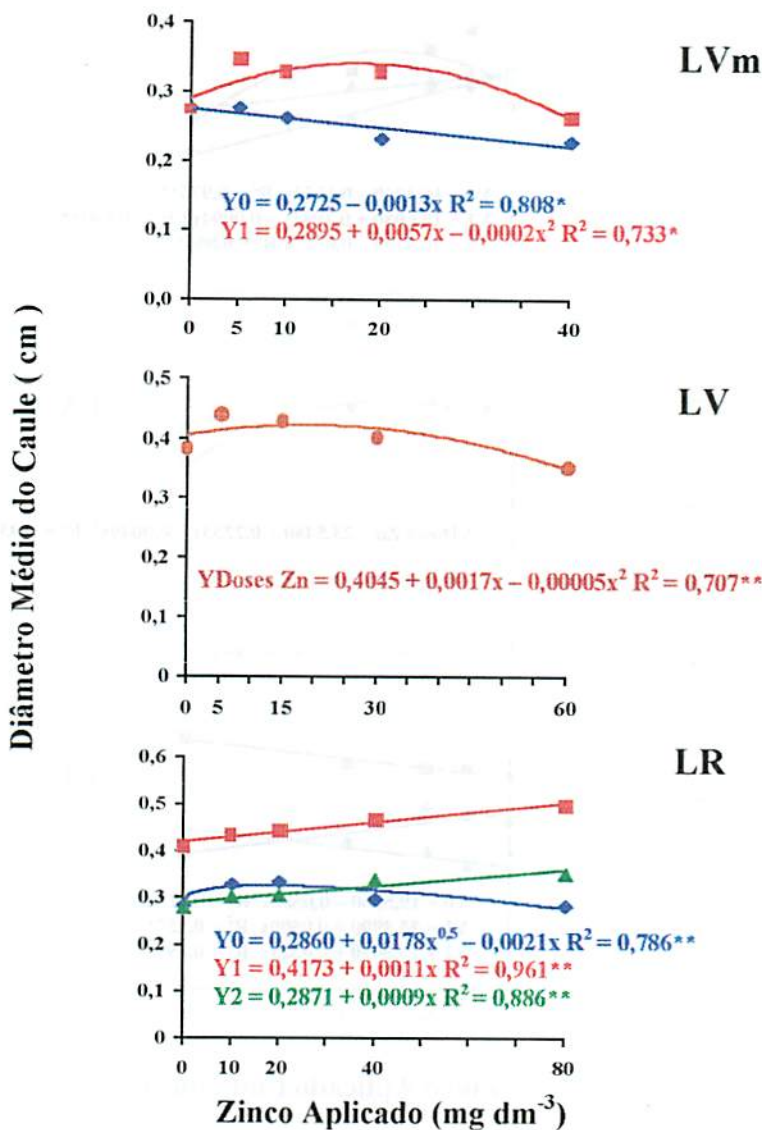




Y0 = calcário 0 ( ◆ ) ; Y1 = calcário 1 ( ■ ) ; Y2 = calcário 2 ( ▲ )

FIGURA 6. Altura média de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

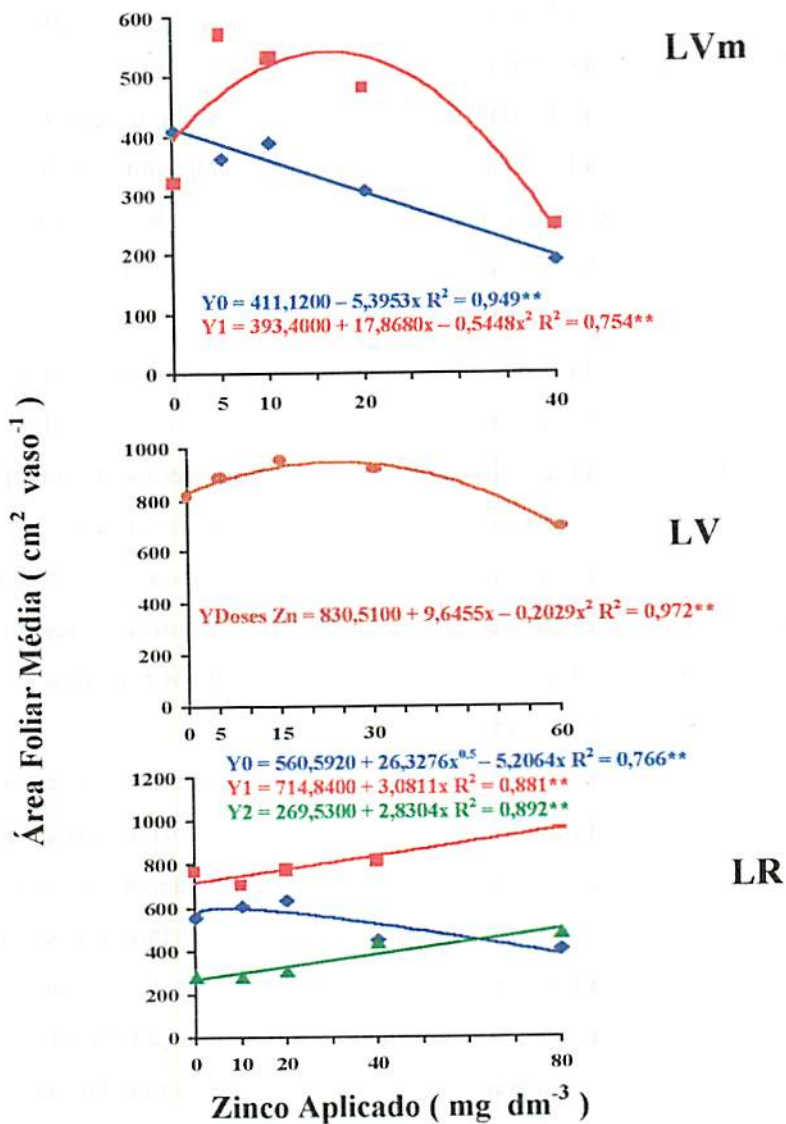
\*\*Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.



Y0 = calcário 0 ( ◆ ) ; Y1 = calcário 1 ( ■ ) ; Y2 = calcário 2 ( ▲ )

**FIGURA 7.** Diâmetro médio do caule de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*,\*\* Significativo ao nível de 5% e 1% pelo Teste de F, respectivamente.



**FIGURA 8.** Área foliar média de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.

provável “consumo de luxo” deste nutriente. Coutinho (1992), trabalhando com milho pipoca, também não encontrou aumento na quantidade de matéria seca da planta com o aumento das doses de zinco, embora o teor de zinco tenha aumentando na planta, o que pode ser caracterizado também de “consumo de luxo”. No presente estudo, como houve grande acúmulo de zinco no caule das plantas e até efeito tóxico desse nutriente, para as plantas de cafeeiro, o “consumo de luxo” de zinco parece ter ocorrido.

Em condições de deficiência ou de toxidez de zinco, as plantas apresentam diminuição no crescimento das folhas novas e dos internódios apicais. Estas duas características, avaliadas neste experimento, comprimento do 2º e 5º internódios, apresentaram respostas significativas para os tratamentos estudados, mostrando que as doses de zinco interferiram nos resultados. Tais respostas, apesar de não estarem completamente idênticas, sugerem que estas duas características devem merecer atenção em futuros trabalhos envolvendo o micronutriente zinco e o cafeeiro.

O decréscimo na relação raiz/parte aérea das mudas de cafeeiro, com o aumento da disponibilidade de zinco no solo ( Tabela 6), de certa forma mostra uma coordenação entre o crescimento da raiz e parte aérea ( Figuras 4 e 7). De acordo com Clarkson (1985), os nutrientes que mais afetam a produção de raízes são o nitrogênio e o fósforo; o efeito do zinco, embora tenha sido significativo, foi bem menos acentuado. De um modo geral, a redução da relação raiz/parte aérea foi devido à pequena produção de biomassa radicular nas doses mais elevadas de zinco. Adriano, Paulsen e Murphy (1971) encontraram que quando há uma grande disponibilidade de zinco no solo, determinadas espécies de plantas apresentam, além do menor tamanho das folhas, diminuição das raízes.

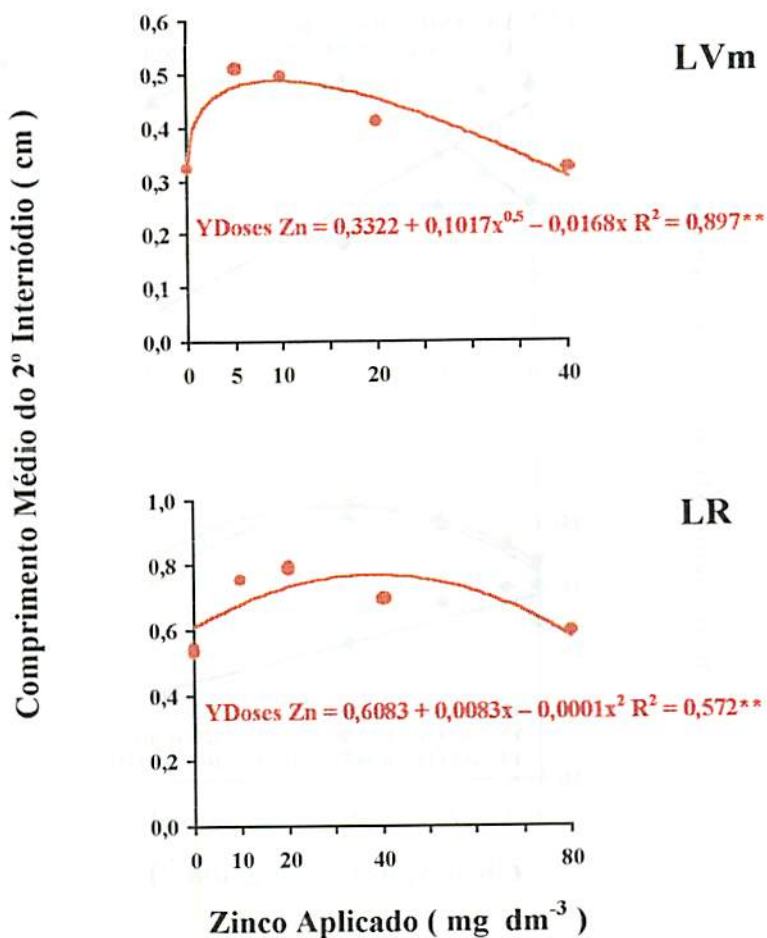
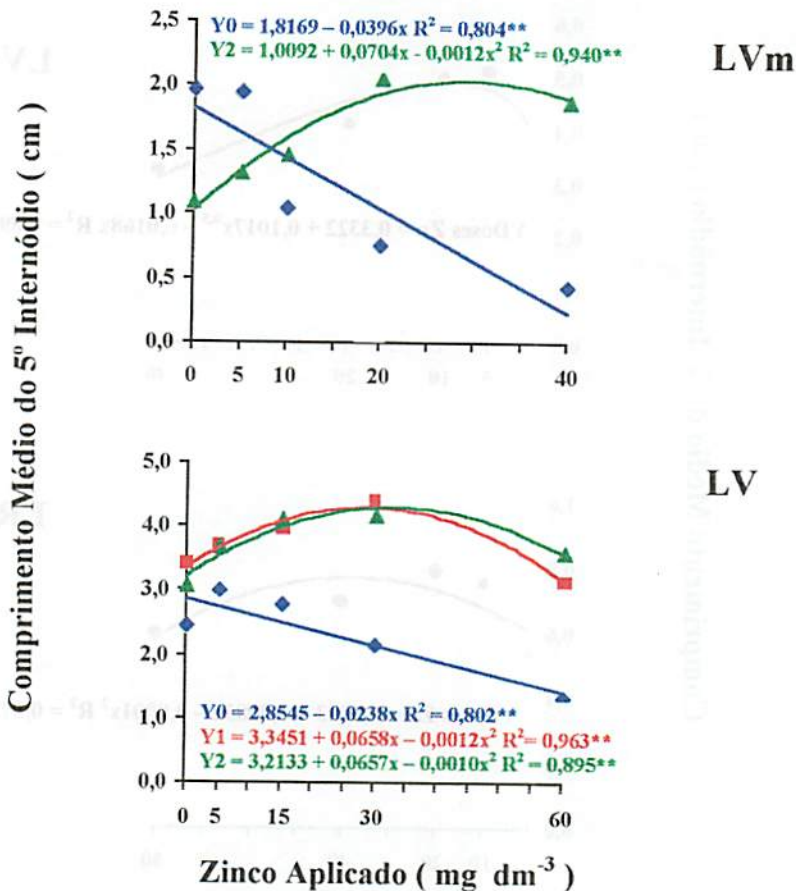


FIGURA 9. Comprimento médio do 2º internócio de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de zinco aplicadas via solo, em dois Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.



Y0 = calcário 0 (◆) ; Y1 = calcário 1 (■) ; Y2 = calcário 2 (▲)

FIGURA 10. Comprimento médio do 5º internódio de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em dois Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.

Tabela 6. Relação média raiz/parte aérea de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), em resposta às doses de zinco e de calcário aplicadas, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

SOLO LV <sub>m</sub>					
Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
0,00	0,26	0,16	0,21	0,18	0,24
1,34	0,27	0,18	0,23	0,23	0,22
2,71	0,26	0,27	0,26	0,32	0,23

**DMS (1%) Interação: Doses de Zn x Doses de Calc. = 0,06**

**CV = 12,23%**

SOLO LV					
Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	0	5	15	30	60
	0,00	0,19	0,22	0,23	0,22
4,49	0,22	0,22	0,25	0,25	0,25
12,04	0,25	0,27	0,23	0,22	0,21

**DMS (1%) Interação: Doses de Zn x Doses de Calc. = 0,04**

**CV = 8,10%**

SOLO LR					
Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	0	10	20	40	80
	0,00	0,22	0,24	0,26	0,24
11,44	0,25	0,23	0,24	0,24	0,23
24,14	0,22	0,23	0,21	0,23	0,20

**DMS (1%) Interação: Doses de Zn x Doses de Calc. = 0,02**

**CV = 7,64%**

### 3.2.1 Prod. máxima de MSPA, 90% da máxima e respectivas doses de Zn

Utilizando-se as respectivas equações de regressão ( Figura 1), podem-se obter as doses de zinco aplicadas que permitiram a máxima MSPA. A partir das equações obtidas, estimaram-se as doses de zinco para 90% da produção máxima de MSPA (zona de deficiência) e redução de 10% da máxima (zona de toxidez) para cada solo (Tabela 7). Para 90% da produção máxima, estima-se representar a máxima eficiência econômica ( Alvarez V. et al., 1988).

As doses de zinco que permitiram a máxima produção de matéria seca da parte aérea de mudas de cafeeiro variaram de 5,05 até 80 mg de Zn dm<sup>-3</sup> (Tabela 7). Houve grande variação nestas doses, ainda mais em se tratando de um micronutriente. Da mesma forma, as doses de Zn necessárias para atingir 90% da produção máxima de MSPA tiveram também uma grande variação entre os solos e as doses de calcário aplicadas ( 0,09 até 64,20 mg de Zn dm<sup>-3</sup> ), como pode ser verificado na Tabela 7. A diferença existente entre as doses de Zn estimadas, se justifica pelo comportamento diferenciado que caracterizou a produção de MSPA, em cada solo ( Figura 1), mostrando respostas distintas para as doses de calcário aplicadas dentro de cada solo estudado.

As doses de Zn correspondentes a 90% da máxima MSPA (zona de deficiência) indicam uma redução média de 44% das doses necessárias para se atingir a produção máxima nos três solos. Essa grande redução na dose de nutriente é acompanhada de uma redução de apenas 10% da produção de MSPA, representando, desta forma, uma considerável economia com a prática da adubação e diminuição da relação custo/benefício. Por outro lado, as doses de Zn necessárias para reduzir em 10% a produção máxima de MSPA ( zona de toxidez), pelo efeito tóxico do nutriente foram em média, 159% superiores às doses estimadas para alcançar a produção máxima, pois nos níveis de calcário 1



Tabela 7. Produção estimada de matéria seca da parte aérea (MSPA), correspondente a produção máxima e 90% da máxima (todas em g.vaso<sup>-1</sup>), e doses de Zn estimadas para promover essas produções e redução de 10% da máxima, em mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, MG, 1999.

SOLO	Doses de Calcário	MSPA (g.vaso <sup>-1</sup> )		Dose de Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )		
		90%	Máxima	90%	Máxima	- 10%
LVm	0	2,13	2,37	0,30	5,05	15,35
	1	3,69	4,10	1,35	7,15	17,55
	2	2,59	2,87	0,85	13,10	39,90
LV	Doses Zn <sup>1</sup>	6,55	7,28	3,80	23,90	44,00
LR	0	3,88	4,25	0,09	10,59	38,45
	1	7,25	8,06	51,75	80	-
	2	3,10	3,45	64,20	80	-

<sup>1</sup> Só houve efeito significativo para doses de Zn e não para a interação.

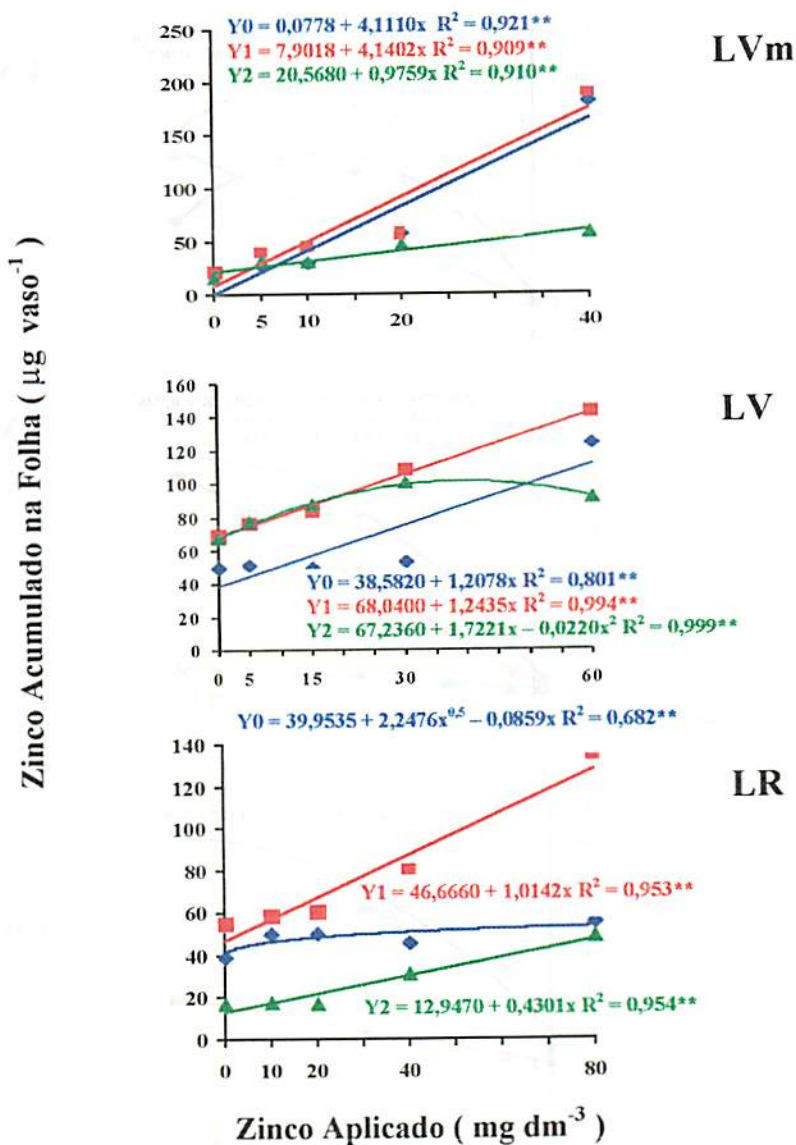
e 2 do solo LR, não foi possível calcular os limites superior e inferior, uma vez que a produção máxima foi obtida na maior dose de Zn aplicada.

Apesar da maioria das respostas das plantas apresentarem comportamento quadrático, exceto os níveis 1 e 2 de calcário, para o solo LR, que apresentaram respostas lineares, a magnitude destas foi diferente entre os solos. Os solos LV e LR proporcionaram a obtenção de mudas de cafeeiro bem superiores ao solo LVm. Porém, no solo LV as doses de calcário aplicadas não apresentaram interação significativa com as doses de Zn adicionadas. Estas respostas diferenciadas, apresentadas pelos solos, certamente são decorrentes dos atributos físicos, químicos e mineralógicos e suas interações em cada solo, acarretando, com isso, condições particulares para a nutrição e o crescimento das plantas.

### 3.3 Acúmulo de zinco na raiz e na folha

A mesma linearidade encontrada para o zinco disponível no solo, em função dos tratamentos aplicados, foi encontrada também, de um modo geral, para a quantidade de zinco acumulada na folha ( Figura 10). Verifica-se, por esta figura, que ao se usar a dose de calcário 2 ( pH 6,5), a quantidade de zinco acumulada na parte aérea de mudas de cafeeiro foi significativamente reduzida, mostrando que, com esta doses de calcário aplicada, o pH e a saturação por bases atingidos afetaram intensamente a disponibilidade de zinco para as plantas. Exceção feita para o solo LV, na dose de calcário 2, e o LR, na dose de calcário 0, que apresentaram comportamento quadrático.

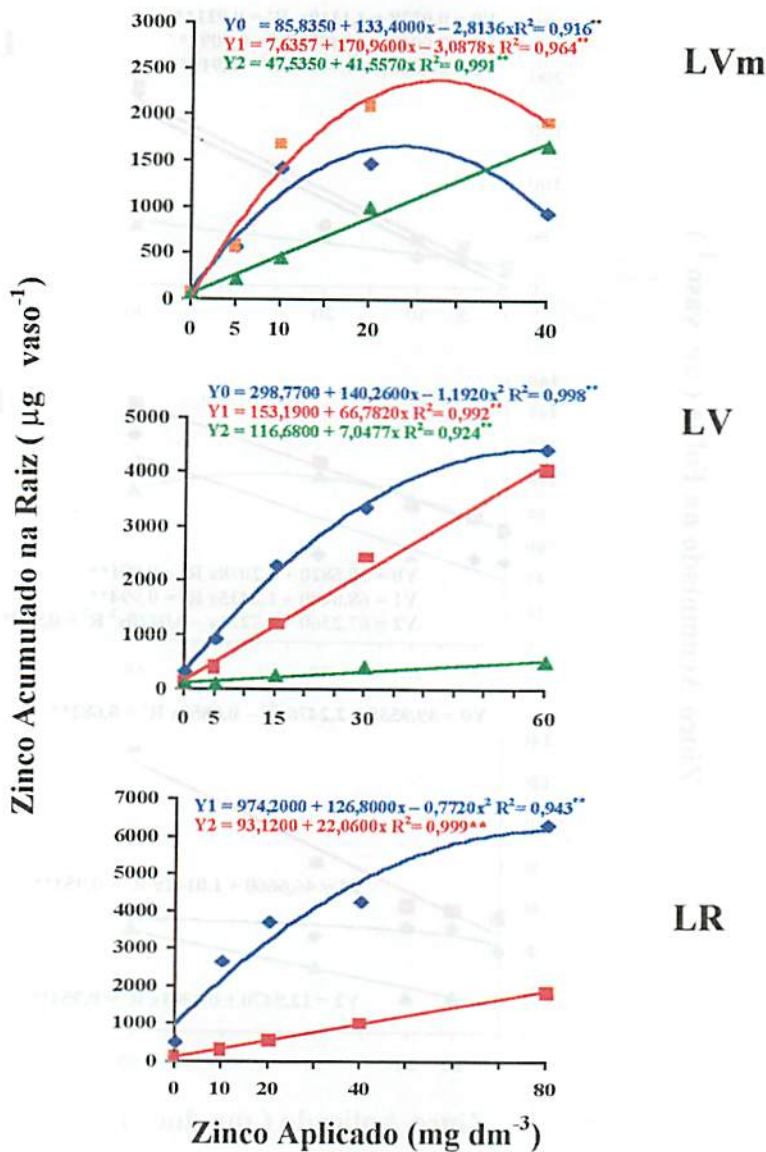
Quanto ao zinco acumulado nas raízes (Figura 11) para a dose de calcário 1 e 2, o acúmulo apresentou comportamento quadrático para o solo LVm. Para os outros dois solos, na dose de calcário 0, o ajuste também foi quadrático para esta característica, enquanto, para as doses de calcário 1 e 2 (pH 5,5 e 6,5) , o acúmulo foi linear. Estas respostas evidenciam que até a dose de calcário 1 ( pH aproximado de 5,5), a quantidade de zinco disponível no solo foi suficiente para proporcionar o máximo crescimento das raízes e apresentar diminuição, após determinada dose, possivelmente em função do excesso de Zn absorvido. Na dose de calcário 2 (pH aproximado de 6,5), a quantidade de zinco acumulada foi linear, mostrando que mesmo na maior dosagem de zinco aplicada, o acúmulo de zinco foi também crescente, reflexo da sua baixa disponibilidade no solo devido ao nível de pH e à saturação por bases atingidos. A resposta quadrática para a dose de calcário 1, (pH 5,5) no solo LVm e linear nos solos LV e LR, mostram que além do pH, saturação por bases, a textura do solo e o teor de matéria orgânica possivelmente foram outros atributos do solo que interferiram na disponibilidade de zinco para as plantas de cafeeiro.



$Y_0 = \text{calcário } 0 (\blacklozenge)$  ;  $Y_1 = \text{calcário } 1 (\blacksquare)$  ;  $Y_2 = \text{calcário } 2 (\blacktriangle)$

**FIGURA 11.** Zinco acumulado nas folhas de mudas de cafeeiro, em resposta às doses de calcário e de zinco aplicadas via solo, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.



$Y_0$  = calcário 0 (◆) ;  $Y_1$  = calcário 1 (■) ;  $Y_2$  = calcário 2 (▲)

FIGURA 12. Zinco acumulado nas raízes de mudas de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de calcário e de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\*Significativo ao nível de 1% pelo teste de F.

Couto (1992) afirma que além do pH, outros atributos do solo são de fundamental importância na disponibilidade de Zn para as plantas, principalmente aqueles relacionados com a capacidade tampão do solo, o que também acontece com os solos mais ricos em matéria orgânica.

### 3.4 Nível crítico de Zn no solo

As equações que relacionam o Zn disponível pelo extrator DTPA e as doses do micronutriente aplicadas em cada solo são apresentadas na Tabela 8. A variação dos valores de declividade das equações entre os solos na capacidade de recuperação do micronutriente pelo extrator, é reflexo da influência dos atributos dos solos na capacidade de recuperação do micronutriente pelo extrator. Dos vários atributos do solo, os que mais exercem influência na disponibilidade de Zn são o pH da solução do solo (Lindsay, 1991), a textura (Couto et al., 1992), os óxidos de Fe e Al (Kalbasi et al., 1978), teor de matéria orgânica (Silveira et al., 1975), CTC (Consolini, 1998) e altas doses de fertilizantes fosfatados (Marschner, 1995).

Como os vários atributos do solo que afetam a adsorção de Zn nos solos eram diferentes para cada solo estudado (Tabela 1), é natural que a disponibilidade do nutriente para as plantas e a quantidade extraída pela extrator DTPA seja diferente. Variações semelhantes foram encontradas para zinco por Couto et al. (1992), que mostraram ser os atributos do solo que refletem o fator capacidade do nutriente em questão, responsáveis por essas variações.

Substituindo-se nas equações da Tabela 8, para cada solo, as doses de Zn correspondentes a 90% da MSPA máxima (Tabela 7), estimaram-se os níveis críticos de Zn no solo (Tabela 9).

Verifica-se que os valores encontrados para os referidos níveis críticos no solo apresentaram ampla variação entre solos e os níveis de calcário aplicados. Tais fatos permitem concluir que os níveis de calcário utilizados

No solo LR, os coeficientes lineares das equações, que indicam o teor de Zn disponível no solo na dose 0, mostram uma tendência de redução, com a elevação do pH (Tabela 8). A primeira e segunda dose de calcário aplicadas, que correspondem ao pH 5,5 e 6,5, respectivamente, foram aquelas que proporcionaram os menores teores de Zn no solo, confirmando, mais uma vez, a baixa disponibilidade desse nutriente com a elevação do pH. Os acréscimos estimados nos teores de Zn para cada unidade aplicada, mostrados pelos

Solo	Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
Lvm	0,00	$Y = 0,2075 + 0,6222X$	0,994**
	1,34	$Y = 0,0492 + 0,5692X$	0,992**
	22,71	$Y = 0,5058 + 0,4538X$	0,993**
LV	Doses de Zn	$Y = 1,0700 + 0,4420X$	0,997**
LR	0,00	$Y = 3,3408 + 0,5498X$	0,999**
	11,44	$Y = 2,4267 + 0,4740X$	0,997**
	24,14	$Y = 0,9383 + 0,3532X$	0,993**

\*\* Significativo a 1%

TABELA 8. Equações de regressão para o Zn disponível pelo extrator DTPA ( $Y = \text{mg dm}^{-3}$ ) como variável dependente das doses de Zn aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) aos três solos estudados. UFLA, Lavras, MG, 1999.

influenciaram determinados atributos do solo, como pH, saturação por bases e alumínio e a CTC. Estes atributos, juntamente com a textura e o teor de matéria orgânica do solo, influenciaram o crescimento das plantas, afetando também o coeficiente de utilização de zinco, conferindo diferentes valores de níveis críticos na planta.

coeficientes angulares das equações, evidenciam magnitude diferenciada e diminuição nos aumentos para as três doses de calcário aplicadas (Tabela 8).

**TABELA 9.** Níveis críticos de Zn estimados nos solos para o cafeeiro, correspondentes a 90% da máxima MSPA (inferior) e redução de 10% da máxima (superior), pelo extrator DTPA, em função de diferentes doses de calcário aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 1999.

SOLO	Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Inferior	Superior
		Mg de Zn dm <sup>-3</sup>	mg de Zn dm <sup>-3</sup>
LVm	0,00	0,39	9,76
	1,34	0,82	10,04
	22,71	0,89	18,61
LV	Doses de Zn	2,75	20,52
LR	0,00	3,39	24,48
	11,44	26,96	-
	24,14	23,61	-

### 3.5 Níveis críticos inferior e superior de Zn na planta

As concentrações de Zn na matéria seca da parte aérea, na época da colheita, aumentaram com as doses de Zn aplicadas, com um ajuste linear para todos os solos, exceto para o solo LVm, dose 0 de calcário, que apresentou ajuste quadrático para esta característica. (Tabela 10)

Substituindo-se nas equações da Tabela 10, para cada solo e em cada dose de calcário aplicada, as doses de Zn, correspondentes a 90% da MSPA máxima, e aquelas que promovem uma redução de 10% da MSPA máxima

(Tabela 7), estimaram-se os níveis críticos de Zn na parte aérea de mudas de cafeeiro, inferior e superior, respectivamente (Tabela 11).

TABELA 10. Equações de regressão ajustadas para os teores de Zn na MSPA ( $Y = \text{mg kg}^{-1}$ ) na época da colheita do experimento, como variável dependente das doses de Zn aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) nos três solos estudados. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Solo	Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>
LVm	0,00	$Y = 24,8338 + 3,7922X + 0,4049X^2$	0,997**
	1,34	$Y = -7,0293 + 15,0862X$	0,984**
	22,71	$Y = -6,8345 + 9,3279X$	0,960**
LV	Doses de Zn	$Y = 15,4684 + 5,0740x$	0,986**
LR	0,00	$Y = 10,6429 + 5,9594X$	0,977**
	11,44	$Y = 35,7473 + 1,4271X$	0,958**
	24,14	$Y = 30,6479 + 0,4020X$	0,954**

\*\* Significativo a 1%.

Observa-se pela Tabela 11, que os maiores níveis críticos para a matéria seca da parte aérea de mudas de cafeeiro foram estabelecidos para os solos de textura mais argilosa, o que a princípio parece ser contraditório, pois os solos de textura mais arenosa e menor teor de matéria orgânica sempre apresentam níveis críticos maiores. Estes valores mais elevados nos solos com menor poder tampão, evidenciam que maior teor de Zn deve ser mantido na solução do solo disponível às plantas para garantir um fornecimento mais adequado às raízes, já



**TABELA 11.** Níveis críticos de Zn estimados na parte aérea de mudas de cafeeiro, correspondentes a 90% da máxima MSPA (inferior) e redução de 10% da máxima MSPA (superior), em função das doses de calcário aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 1999.

SOLO	Doses de Calcário (g vaso <sup>-1</sup> )	Inferior	Superior
		mg de Zn kg <sup>-1</sup>	mg de Zn kg <sup>-1</sup>
LVm	0,00	26,38	89,26
	1,34	13,34	257,73
	22,71	1,09	365,35
LV	Doses de Zn	34,74	238,72
LR	0,00	11,18	239,78
	11,44	109,60	-
	24,14	56,46	-

que nesses solos ocorre um esgotamento mais rápido do micronutrientes em solução, devido ao menor poder de reposição pela fase sólida.

Quando dois ou mais solos de diferentes texturas recebem doses idênticas de zinco, o maior nível crítico será obtido no solo de menor poder tampão, pois haverá mais zinco disponível na solução do solo uma vez, que no solo mais argiloso, a maior parte do zinco aplicada será adsorvida, não ficando disponível para as plantas. No entanto, quando esses mesmos solos recebem doses diferenciadas de zinco, como aconteceu neste trabalho, os níveis críticos na planta serão diferentes, pois o fator intensidade de cada solo será distinto e as plantas irão absorver Zn, em quantidade diretamente proporcional ao fator capacidade desse nutriente, em virtude do maior poder de reposição à solução do solo, dos solos de maior poder tampão, em consequência da absorção pelas raízes, o que irá proporcionar maior nível crítico nos solos que têm maior poder

tampão. Os maiores níveis críticos encontrados para os solos mais argilosos neste trabalho, corroboram com os trabalhos reportados por Holford e Mattingly, (1976), trabalhando com P; Prezotti e DeFelippo (1988), trabalhando com potássio e o eucalipto e Vila (1999) trabalhando com o feijoeiro e o potássio.

Os menores níveis críticos encontrados para a dose 2 de calcário (pH 6,5) foram decorrentes da elevação do pH e maior saturação por bases, diminuindo a solubilidade do micronutriente Zn e, conseqüentemente, a sua disponibilidade na solução do solo, resultando em menor quantidade de Zn absorvida pela planta. Por outro lado, ressalta-se o fato de que a calagem ameniza a toxidez por zinco, em particular no solo LVm (mais arenoso). Esta afirmação fundamenta-se no nível crítico superior nesse solo, que é muito maior na dose 2 de calcário (pH 6,5), quando comparada com as demais doses de calcário aplicadas.

Esta dependência dos níveis críticos do nutriente na planta, em relação aos atributos dos solo que controlam a sua disponibilidade também foi encontrados por outros autores: Couto et al. (1992), trabalhando com zinco e plantas de eucalipto; De Muner (1996) e Menezes (1998), trabalhando com zinco e plantas de milho. De acordo com Couto et al., (1992), os atributos do solo que refletem o fator capacidade do nutriente zinco, foram os responsáveis por essas variações. Nos solos estudados no presente trabalho, alguns dos atributos do solo que afetam a adsorção de Zn, apresentam valores bem distintos (Tabela 1). É natural que a disponibilidade do nutriente para as plantas e a quantidade extraída pelo extrator DTPA, sejam diferentes para cada solo.

Conforme Raij et al. (1996), os limites de interpretação dos teores de zinco e solos, para cafeeiros no Estado de São Paulo são:  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  (baixo) e acima de  $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$  tidos como teores altos no solo, recomendando-se a aplicação de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de zinco no solo para esse cultivo quando o teor de Zn (DTPA) for inferior a  $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ . Para o cultivo de citros, esses mesmos

autores recomendam também 2 kg de Zn ha<sup>-1</sup> até o teor de 1,2 mg dm<sup>-3</sup> de Zn no solo, e para eucalipto, 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn quando o teor no solo for inferior a 0,6 mg dm<sup>-3</sup>. Segundo a 5ª Aproximação para corretivos e fertilizantes no Estado de Minas Gerais (1999), em solos deficientes em Zn recomenda-se a aplicação de 5 a 10 kg de Zn ha<sup>-1</sup>.

Essas variações encontradas nos níveis críticos em diversos trabalhos, e a quantidade recomendada do nutriente mostram que assim como a disponibilidade dos nutrientes está relacionada com vários atributos dos solo e condições climáticas, a capacidade das plantas em absorvê-lo em uma dada concentração na solução do solo varia e muito com a espécie vegetal, vindo a confirmar um fato muito discutido de que a fixação do nível crítico de Zn em 0,5 mg dm<sup>-3</sup> pelo extrator DTPA não pode ser generalizado, para todas as espécies e classes de solos.

Certamente, as diferenças entre os valores observados para os níveis críticos (Tabela 11), bem como aqueles citados na literatura, devem-se aos tipos de solos, culturas estudadas, épocas do cultivo, doses dos outros nutrientes aplicados, idade da planta ou do órgão amostrado, época de amostragem, condições de cultivo – campo ou casa de vegetação (Faquin et al., 1995). Vale ressaltar também a importância do teor de matéria na determinação destes níveis críticos, que eram bem distintos entre os solos estudados. O nível crítico depende também, do extrator utilizado e dos critérios adotados para o estabelecimento dos valores tóxicos. Ressalta-se ainda, que os níveis críticos determinados neste trabalho, referem-se à mudas de cafeeiro e em condições de casa de vegetação, onde pelo volume limitado de solo explorado pelas raízes, encontram-se doses muito mais elevadas do que no campo, enquanto os referidos níveis críticos citados na literatura, são para planta adulta, em condições normais de cultivo.

### 3.6 Índices de eficiência

Ao considerar produção de biomassa em relação ao suprimento de nutriente, a eficiência de utilização do nutriente absorvido é tão importante quanto a eficiência de absorção. A maior parte dos estudos nesse sentido tendem a se concentrar em macronutrientes, tais como nitrogênio (Furlani, Bataglia e Azzini, 1986; Furtini Neto, 1988 e Fernandes, et al., 1998), enxofre (Furtini Neto, 1988) e fósforo (Furtini Neto, 1994; Stefanutti, 1997).

Para o zinco, os trabalhos que calculam índices de eficiência para este nutriente referem-se a outros cultivos, como os de De Muner (1996) e Menezes (1998), para milho e Stefanutti (1997) para arroz. Para o cafeeiro, a literatura é praticamente inexistente, principalmente em se tratando de mudas.

No presente experimento, em todas as doses de calcário aplicadas foi verificado um aumento na eficiência de absorção de zinco ( $\mu\text{g}$  de Zn  $\text{mg}^{-1}$  de raízes) com o aumento das doses aplicadas (Tabela 12). Nas condições de baixa disponibilidade de zinco, a eficiência de absorção é menor. Este resultado não indica que o mecanismo de absorção tenha se tomado menos eficiente, mas possivelmente porque sob baixa disponibilidade de zinco no solo, as raízes da mudas de cafeeiro tiveram sua absorção limitada. Menezes (1998) também encontrou aumentos na intensidade de absorção de zinco nos níveis mais altos de fertilização. No início do crescimento das plantas, o zinco é altamente exigido, por estar intimamente relacionado com a síntese do triptofano, que é um precursor da auxina (AIA), e conseqüentemente com a divisão celular e crescimento das regiões meristemáticas.

A diferença de magnitude nos índices de eficiência de absorção, entre as doses de calcário é atribuída às mudanças principalmente no pH e saturação por bases, que influenciam a disponibilidade de zinco para as plantas. Pode-se verificar, pela Tabela 12, que nas doses de calcário 1 e 2, que visavam elevar o pH a 5,5 e 6,5, foram obtidos índices de eficiência de absorção bem menores,



que nas doses de calcário natural do solo. Ao que tudo indica, a redução na disponibilidade de zinco pela calagem é devido à maior CTC e/ou à maior quelação do Zn pela matéria orgânica, em função de sua maior decomposição com a elevação do pH. Muraoka, Neptune e Nascimento Filho, (1983) verificaram também redução no teor de zinco na parte aérea de plantas de feijão, em resposta à calagem, quando o pH do solo passou em média, de 5,5 para 6,8. Resultados semelhantes foram obtidos por Menezes (1998), menores declividades das equações de regressão na presença de calagem mostraram essa redução na absorção de zinco. A redução obtida por essa autora foi de 41,2% no teor e de 36,2% com base no conteúdo, verificada pela média das declividades das equações significativas para teor e conteúdo de zinco, em função da dose aplicada, na presença e ausência de calagem.

Quanto à eficiência de utilização de zinco pelas plantas (Tabela 13), observa-se que o padrão de comportamento foi semelhante entre as doses de calcário estudadas. Assim, houve um aumento na eficiência de utilização ao se aumentar o fornecimento de zinco até níveis ideais para a máxima produção de matéria seca. Acima destes níveis, ocorreu acentuado declínio na eficiência de utilização. A menor eficiência de utilização nas doses mais elevadas de zinco provavelmente seja causada pela maior absorção do nutriente (Tabela 12). Considerando que ambas as curvas, tanto a de crescimento quanto a de atuação enzimática, são hipérboles retangulares, este era o comportamento esperado corroborando resultados de Siddiqi e Glass (1981) em estudo com potássio e Furtini Neto (1994) em estudo com várias espécies de eucalipto e fósforo.

Destaca-se que em condições de pH natural do solo (dose 0 de calcário), a eficiência de utilização foi menor que na dose de calcário 1 (pH 5,5) e semelhante à dose de calcário 2 (pH 6,5). Somente no LV (450 g kg<sup>-1</sup> de argila), a eficiência de utilização na dose de calcário 2 foi superior às demais. Este aumento na eficiência de utilização para este solo, na dose de calcário 2, foi

TABELA 12. Eficiência de absorção de zinco por mudas de cafeeiro em resposta a doses de zinco via solo, na presença de diferentes doses de calcário, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

**LVm**

Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
	µg de Zn mg <sup>-1</sup> de Raiz				
0	0,20	1,49	3,19	4,64	5,59
1	0,13	0,86	2,13	3,77	5,53
2	0,14	0,35	0,67	1,14	3,17

DMS ( 1% ) Interação: Doses de Zn x Doses de Calc. = 0,68 µg Zn mg<sup>-1</sup> Raiz.  
CV = 12,64 %

**LV**

Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	15	30	60
	µg de Zn mg <sup>-1</sup> de Raiz				
0	0,52	1,01	2,93	6,57	8,88
1	0,15	0,30	0,71	1,34	3,52
2	0,12	0,09	0,19	0,27	0,41

DMS ( 1% ) Interação: Doses de Zn x Doses de Calc. = 1,51 µg Znmg<sup>-1</sup> Raiz.  
CV = 34,11 %

**LR**

Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	10	20	40	80
	µg de Zn mg <sup>-1</sup> de Raiz				
0	0,66	1,78	2,17	3,87	4,34
1	1,38	0,87	0,86	1,69	1,16
2	1,62	1,59	1,34	1,03	0,90

DMS ( 1% ) Interação: Doses de Zn x Doses de Calc. = 1,70 µg Zn mg<sup>-1</sup> Raiz.  
CV = 53,57 %

TABELA 13. Eficiência de utilização de zinco por mudas de cafeeiro, em resposta a doses de zinco via solo, na presença de diferentes doses de calcário, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

**LVm**

Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
	$g^2 \mu g^{-1}$ de Zn 10 <sup>3</sup>				
0	142,09	179,52	66,35	36,36	3,11
1	289,42	477,96	93,56	46,94	9,42
2	169,97	179,71	176,85	64,95	30,71

DMS ( 1% ):Interação Doses de Zn x Doses de Calc.= 195,65  $g^2 \mu g^{-1}$  de Zn 10<sup>3</sup>  
CV = 60,67 %

**LV**

Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	15	30	60
	$g^2 \mu g^{-1}$ de Zn 10 <sup>3</sup>				
0	256,48	278,85	143,41	75,66	19,40
1	440,55	562,92	295,96	188,72	47,80
2	538,11	644,98	595,45	576,31	393,12

DMS 1% :Interação Doses de Zn x Doses de Calc.=197,56  $g^2 \mu g^{-1}$  de Zn 10<sup>3</sup>  
CV = 29,05%

**LR**

Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	10	20	40	80
	$g^2 \mu g^{-1}$ de Zn 10 <sup>3</sup>				
0	233,64	186,32	161,29	51,01	26,72
1	476,74	341,96	283,12	186,45	179,73
2	140,62	118,23	137,74	174,02	148,41

DMS ( 1% ):Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 46,93  $g^2 \mu g^{-1}$  de Zn 10<sup>3</sup>  
CV = 25,37%

reflexo da maior produção de matéria seca da parte aérea, uma vez que, para o referido solo, as maiores produções de MST ocorreram na dose de calcário 2. Porém, de um modo geral, a maior produção de matéria seca ocorreu na dose 1 de calcário (pH 5,5), como mostram as Figuras 1 e 2. Tal comportamento sugere que a eficiência de utilização de zinco, como foi apresentada neste trabalho, apresenta-se como uma boa característica para explicar a produção de matéria seca por mudas de cafeeiro.

Quanto à porcentagem de translocação, é interessante observar que sob baixa disponibilidade de zinco, a porcentagem de translocação deste nutriente das raízes para a parte aérea é elevada (Tabela 14), isso ocorre para manter o metabolismo funcionando. Nas doses maiores de Zn, ocorreu um decréscimo significativo, na translocação para a parte aérea, porque a planta compartimentaliza mais Zn na raiz (Tabela 5). Pode também ter ocorrido algum mecanismo ou distúrbio metabólico na raiz que impediu a sua translocação para a parte aérea, provavelmente interagindo com o fósforo. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), ao se referirem à interação P X Zn, citam-na como uma das causas responsáveis desta interação, em que o P insolubiliza o Zn no xilema, diminuindo o seu transporte para a parte aérea. Esses mesmos autores afirmam que no xilema, o Zn ocorre principalmente como  $Zn^{+2}$ , o que provavelmente explica a baixa constante de estabilidade deste nutriente por quelantes orgânicos, o que, por sua vez, ajudaria a entender a explicação dada acima. A interação P x Zn, nas raízes, também foi encontrada por Bahia (1973); Pereira (1985) e Barbosa (1994).

A recuperação de Zn foi baixa em todas as doses de calcário estudadas em função das doses aplicadas (Tabela 15). A porcentagem de recuperação foi inferior a 4%. De um modo geral, a taxa recuperação do zinco aplicada ao solo é muito pequena. Isso indica que o nutriente teria assumido formas menos disponíveis às plantas em função dos inúmeros atributos de solo que interferem



TABELA 14. Porcentagem de translocação do zinco absorvido por mudas de cafeeiro em resposta às doses de zinco aplicadas via solo, na presença de diferentes doses de calcário, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

LVm					
Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
	.....%				
0	35,82	5,89	5,11	6,13	29,49
1	36,10	6,04	8,58	7,47	17,51
2	44,96	16,20	8,90	12,22	11,15

DMS ( 1% ) : Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 14,84 %  
CV = 35,97%

LV					
Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	15	30	60
	.....%				
0	16,73	8,15	5,04	3,84	6,45
1	47,06	21,25	15,19	13,52	12,31
2	46,75	56,48	34,25	27,13	24,43

DMS ( 1% ) : Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 8,13 %  
CV = 14,65%

LR					
Doses de Calcário	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	10	20	40	80
	.....%				
0	11,51	3,69	3,03	3,28	5,01
1	53,92	26,27	19,30	31,39	17,77
2	67,74	66,37	61,45	46,94	36,29

DMS ( 1% ) : Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 21,12 %  
CV = 28,38%

**TABELA 15.** Porcentagem de recuperação de zinco por mudas de cafeeiro, em resposta à doses de zinco aplicadas via solo, na presença de diferentes doses de calcário, em três Latossolos. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Doses de Calcário	LVm			
	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )			
	5	10	20	40
	.....%.....			
0	2,13	3,37	1,55	0,66
1	3,38	3,61	2,83	1,30
2	0,75	0,88	1,20	1,01

DMS ( 1% ) : Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 0,97%  
CV = 24,62%

Doses de Calcário	LV			
	5	15	30	60
		.....%.....		
0	2,78	4,42	4,27	1,77
1	1,47	1,92	2,09	1,79
2	0,01	0,26	0,25	0,18

DMS ( 1% ) : Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 1,71,%  
CV = 45,95%

Doses de Calcário	LR			
	10	20	40	80
		.....%.....		
0	5,45	4,08	2,39	1,89
1	0,66	0,65	0,52	0,65
2	0,02	0,01	0,06	0,06

DMS ( 1% ) : Interação Doses de Zn x Doses de Calc. = 1,14%  
CV = 49,79%

na sua disponibilidade, aumentando a sua adsorção ao solo com o aumento das doses de calcário, ou mesmo diminuição da solubilidade do zinco na solução do solo, como descrito por Menezes (1998). A planta absorve uma pequena quantidade do zinco aplicado ao solo na forma de fertilizante, pois a maior parte é fixada ao solo ou se apresenta na forma de quelatos estáveis, principalmente com a matéria orgânica (Alvarez et al., 1996). A baixa recuperação pode também ser decorrente da baixa difusão de zinco no solo, dificultando seu alcance pelas raízes da planta. O sistema radicular do cafeeiro não estava ocupando toda a área disponível do vaso, mesmo nos tratamentos que apresentaram maior crescimento. Como o zinco foi distribuído uniformemente em todo o vaso, sugere-se que devido ao tamanho do sistema radicular, nem todo o zinco disponível no substrato foi utilizado pela planta.

O cafeeiro é uma planta de crescimento lento, e como o período de duração do experimento foi relativamente curto (180 dias), é possível que estes fatores tenham interferido na porcentagem de zinco recuperada. Franco (1997) ao estudar translocação e compartimentalização de zinco em cafeeiro, aplicado via raízes encontrou alterações mínimas no crescimento de mudas de cafeeiro, devido às doses de zinco aplicadas. Um dos motivos levantados pelo autor, para essa baixa resposta, foi o crescimento muito lento das plantas de cafeeiro.

Vale a pena ressaltar que a eficiência nutricional varia de acordo com a definição de eficiência utilizada. Considerando que no caso do cafeeiro, o que mais interessa é a produção de frutos; e como não é possível, a produção de frutos, sem a presença de um bom desenvolvimento da parte aérea, uma vez que a produção de *Coffea arabica* L. é feita em ramos novos, que não produziram antes, desta forma a eficiência de utilização, como foi apresentada neste trabalho é um bom indicativo da conversão de nutrientes em biomassa no cafeeiro. Se o nutriente é convertido em biomassa, conseqüentemente será também em frutos.

No final do experimento ficou constatado que o sistema radicular do cafeeiro, não estava ocupando toda a área disponível do vaso, mesmo nos tratamentos que apresentaram maior crescimento. Como o zinco foi distribuído uniformemente em todo o vaso sugere-se que devido ao tamanho do sistema radicular, nem todo o zinco disponível no substrato foi utilizado pela planta. Tal fato permite concluir que a quantidade de zinco aplicada poderia suprir adequadamente a planta por um período de tempo maior, ou seja, a aplicação de zinco feita no solo proporcionaria um maior efeito residual. No entanto, mesmo considerando o pequeno tempo de duração do experimento, em se tratando de uma cultura perene, a eficiência de utilização, como foi apresentada neste trabalho é um bom indicativo da conversão de nutrientes em biomassa pelo cafeeiro.

Dentro deste mesmo raciocínio, Lauchi (1987) afirma que para nutrientes cuja difusão no solo é limitada, como o Zn, o aumento nas taxas de absorção seria de menor importância que as alterações na geometria radicular, enquanto que a necessidade funcional desempenha importante papel. Além deste aspecto, deve também ser considerado que os processos não podem ser analisados separadamente; a eficiência na absorção e utilização de nutrientes requer que os processos associados com a absorção, translocação e redistribuição operem eficientemente (Moll, Kamprath e Jackson, 1982). Dentro deste contexto, a eficiência de utilização é uma valiosa ferramenta para verificar se a planta em estudo é eficiente ou não, na conversão de determinado nutriente, mas para comprovar realmente a sua importância, há necessidade de estudar também a eficiência de absorção, translocação e distribuição do referido nutriente, uma vez que o processo deve ser analisado num todo e não separadamente.

## 4 CONCLUSÕES

A adição de Zn aumenta linearmente o teor deste nutriente no solo, independente do solo e da dose de calcário utilizada. No entanto, houve uma extração diferencial para cada dose de calcário, sendo de maior magnitude para a dose 0 (pH original do solo); dose 1 (pH 5,5) e dose 2 (pH 6,5), respectivamente.

O caféiro responde em produção de MSPA às doses de Zn, nos três solos estudados. As maiores produções ocorrem na dose 1 de calcário (pH 5,5), para os solos LVm e LR. No solo LV, as maiores produções ocorrem na dose de calcário 2 (pH 6,5).

As equações quadráticas ajustam se melhor à produção de MSPA, nos solos LVm e LV, para todas as doses de calcário utilizadas, e no solo LR, para a dose 0 de calcário. No solo LR, para as doses de calcário 1 e 2 (pH 5,5 e 6,5, respectivamente), as equações lineares são as que melhor se ajustam à produção de MSPA.

A quantidade de Zn acumulada na folha é linear, em função das doses de Zn aplicadas, exceto para a dose de calcário 0 (pH natural do solo), no solo LR e dose de calcário 2 (pH 6,5), no solo LV.

Os níveis críticos de Zn nos solos que permitem a produção de 90% da máxima MSPA variam entre os solos e, entre as doses de calcário estudadas, quando determinados pelo extrator DTPA, exceto no solo LV, onde a interação doses de Zn x doses de calcário não foi significativa.

Os níveis críticos de Zn na MSPA, para 90% da máxima, variam entre os solos estudados, indicando que além das doses de calcário estudadas, há uma tendência de que as diferenças entre os atributos químicos, físicos e mineralógicos, afetam também, o coeficiente de utilização e, conseqüentemente, os níveis críticos internos do micronutriente.

A eficiência de utilização, como foi apresentada neste trabalho é um bom indicativo da conversão de nutrientes em biomassa pelas plantas de cafeeiro.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C.; PAULSEN, G.M.; MURPHY, L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, n.1, p.36-39, Jan./Feb. 1971.
- ALVAREZ J. M.; OBRADOR, A.; RICO, M. I. Effects of chelated zinc, soluble and coated fertilizers, on soil zinc status and zinc nutrition of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.27, n.1/2, p. 07-19, Jan. 1996.
- 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. (ed). *O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado*. Viçosa: UFV/DPS/ SBCS, 1996. p. 615-646.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo – metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1988, Viçosa, MG. *Resumos...* Viçosa, MG:UFV, 1988. p.68-69.
- AMARAL, A.S. do.; BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M.; MATIELLO, J.B. Fontes e doses de zinco na formação do cafeeiro, em solo LH: Efeitos na produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 23, 1997, Manhuaçu. *Anais...* Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ/PNFC, 1997. p.28-30.
- BAHIA, F.G.F.T. de C. Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem em dois solos de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1973. 38p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal:FUNEP, 1992. 247p.

- BARBOSA, Z. Efeito do fósforo e do zinco na nutrição e crescimento de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Aroeira-do-sertão). Lavras:ESAL, 1994. 105p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L.J. Determinação da área de folhas de café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon amarelo). *Revista Ceres*, Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, jan./mar. 1973.
- BAR-YOSEF, B. pH – dependent zinc adsorption by soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 43, n. 6, p.1095 – 1099, Nov./Dec. 1979.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C. A. (ed.) *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 10, p.374-390.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Normais Climatológicas (1961-1990). Brasília: MA/SNI/DNMET, 1992. 84p.
- CASTRO NETO, P. e SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama. *Período Mensais. Ciência e Prática*, Lavras, v.5, n.2, p.145-151, jul./dez. 1981.
- CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P.C. (ed.). *Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixo insumos nos trópicos*. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p.45-75.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação*. Viçosa:UFV, 1999. 319p (no prelo).
- CONSOLINI, F. *Distribuição e disponibilidade das frações de zinco em alguns solos do Estado de São Paulo*. Jaboticabal:UNESP, 1998. 80p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal).
- COUTINHO, E.L.M.; VELINE, E.D.; LEMUS ERASMO, E.A. FLOREZ RONCACIO, V. J.; MARTINS, D. Resposta do milho pipoca à adubação com zinco em condições de casa de vegetação. *Ciência Agrônômica*, Jaboticabal, v. 7, p. 31-36, 1992.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solo com diferentes valores do fator capacidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.16, n.1, p.79-87, jan./abr. 1992.

- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (ed) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 13, p.545-566.
- DE MUNER, L. H. **Disponibilidade de zinco para milho em resposta à correção da acidez e à localização de fósforo no solo**. Viçosa:UFV, 1996. 102p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análises de solos**, 2.ed. Rio de Janeiro:EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- ENCICLOPÉDIA DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS. Rio de Janeiro:IBGE, v. 25, 475p., 1959.
- EUCLYDES, R.F. **Manual de Utilização do Programa SAEG (Sistema para Análises Estatística e Genética)**. Viçosa:Universidade Federal de Viçosa, 1983. 59p.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R.; GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.87-94, jan./abr. 1995.
- FÁVARO, J. R. A. **Crescimento e produção de Coffea arabica L. em resposta à nutrição foliar de zinco, na presença de cloreto de potássio**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1992. 91 p. (Dissertação - Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELLOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 22, n. 1, p. 247-254, abr./jun. 1998.
- FRANCO, I. A. DE L. **Translocação e compartimentalização de Zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas**. Viçosa:UFV, 1997. 68P. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- FREIRE, J. C. ; RIBEIRO, M. A.V.; BAHIA, V. G. ; LOPES, A. S. ; AQUINO, L. H. DE. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n.1, p. 5-8, jan./abr. 1980.



- FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; AZZINI, L.E. Comportamento diferencial de linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, n.1, p.51-59, jan./abr. 1986.
- FURTINI NETO, A.E. Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio por diferentes espécies de eucalipto. Lavras:ESAL, 1988. 95 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FURTINI NETO, A. E. Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus* spp. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1994 99 p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA-FILHO, M.V.de. Efeito de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, n.3, p.167-170, set./dez. 1981.
- GOMIDE, M. B.; LEMOS, O. V.; TOURINO, D.; CARVALHO, M. M. de; CARVALHO, J. G. de; DUARTE, G. de S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, jul./dez. 1977.
- GRILLO, J.M.; SILV, J.B.S. Efeito da aplicação do zinco em cobertura no solo sobre o teor de zinco e produção de matéria seca de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em casa de vegetação. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 9, n.1, p.105-117, jan./jun., 1985.
- HAMILTON, M. A.; WESTERMANN, D.T.; JAMES, D.W. Factors affecting zinc uptake in cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 57, n.5, p. 1310-1315, Sept./ Oct. 1993.
- HOLFORD, I.C.R.; MATTINGLY, G.E.G. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. *Plant and Soil*, The Hague, v. 44, p.377-389, 1976.
- HUERTA, S. A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo, para medir el área foliar del cafeto. *Cenicafé*, Caldas, v. 13, n. 1, p. 33-42, ene./mar. 1962.
- IYENGAR, S.S.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 45, p. 735-739, July/Aug. 1981.
- LAUCHI, A. Soil science in the next twenty five years: Does a biotechnology play a role? *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, n. 6, p.1405-1409, 1987.

- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Willey & Sons, 1979. 449p.
- LINDSAY, W.L. **Inorganic equilibria affecting micronutrients**. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (eds). **Micronutrients in agriculture**. 2.ed. Madison: Winsconsin Soil Science Society of America, 1991. p.89-111.
- LOPES, A. S.; CARVALHO, J. G. de **Micronutrientes: Critério de diagnose para solos e plantas, correção de deficiências e excessos**. In: SIMPÓSIO DE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina. **Anais.... Londrina:EMBRAPA – CNPSO/ IAPAR/ SBCS, 1988. p.133-178.**
- MACHADO, P.L.O.deA.; PAVAN, M.A. **Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.3, p.253-256, set./dez. 1987.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. **Nutri-Fatos: informação agronômica sobre nutrientes para as culturas**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. 24p. (Arquivo do Agrônomo,10)
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. In : RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. ( eds). **Cultura do cafeeiro e fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS. 1986. p. 165 – 274.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba:Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARIANO, E. Dal' Ava. **Resposta, níveis críticos e eficiência de extratores para boro em feijoeiro cultivados em solos de várzeas**. Lavras:UFLA, 1998. 82p. (Dissertação - Mestrado em solos e Nutrição de Plantas).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego:Academic Press, 1995. 889 p.

- MEHRA, O.P.; JACKSON, N.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v. 3, p. 317-327, 1960.
- MENEZES, A. A. Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 1998, 52p. (Dissertação - mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors whic contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* , Madison, v.74, n.3, p.562-564, May/June 1982.
- MOYSES, E.L.F.D. Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L.) CV Catuaí em solução nutritiva com diferentes doses de zinco e pH. Piracicaba: ESALQ/USP, 1988. 147p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MUZILLI, O. Desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. ) cultivar Goiano Precoce e a absorção de nutrientes em função da acidez do solo Latossolo Roxo Distrófico, Piracicaba:ESALQ, 1974. 76p. ( Tese - Mestrado em Solos Nutrição de Plantas).
- OLIVEIRA, M. F. G. de. Fracionamento e difusão de zinco influenciados pelo íon acompanhante e pelo pH de solos. Viçosa : UFV, 1998. 45 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PAVAN, M.A.; SIQUEIRA, R.; FARIA, R.T.de.; MACHADO, P.L.O.de A.; MIYAZAWA, M. Influência da umidade do solo no diagnóstico da deficiência de zinco em cafeeiro. *Ciência e Cultura*, Piracicaba, v.38, n.10, p.1695-1699, Out. 1986.
- PEREIRA, L.F. Efeitos da aplicação de calcário, fósforo e zinco no crescimento e nutrição do trigo (*Triticum aestivum* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) em dois solos de várzea do Estado de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1985. 135p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PREZOTTI, L.C.; DEFELIPPO, B.V.; VENEGAS, V.H.A.; BARROS, N.F.de. Nível crítico de potássio no solo para a produção de mudas de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 12, n.1, p. 65-70, jan./abr. 1988.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.N.C. (eds). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- ROCHA B., R. **Níveis de boro, cobre e zinco em solução nutritiva e em dois solos para o milho.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 65p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SANTOS, H.L. **Efeito de Zn, B, Mo e calagem na soja perene (*Glycine javanica* L.) em solos de vegetação de cerrado, em condições de estufa.** Viçosa: UFV, 1971. 46 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Planta).
- SARRIÉS, A.G.; OLIVEIRA, J.C.V.de.; ALVES, M.C.; SANEST. Piracicaba:ESALQ/CIAGRI, 1992. 80p. (Série Didática CIAGRI, 06).
- SCARAMUZZA, J. F. **Produtividade de grãos e teores foliares de nutrientes em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em resposta à aplicação de boro, zinco e cobre, via foliar ou no sulco de plantio.** Viçosa:UFV, 1998. 79p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.4., n.3 , p.289-302, 1981.
- SIQUEIRA, M. de O. **Adsorção de zinco por solos com remoção da matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio.** Viçosa: UFV, 1998. 81p. (Dissertação - Mestrado em Agroquímica).
- SILVA, J. B. S. da. **Influência de doses de sulfato de zinco, aplicadas por via foliar, sobre a produção do cafeeiro.** Lavras: ESAL, 1979. 62p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVEIRA, R.I.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SARRUGE, J.R. **Influência do pH e dos teores de fosfato solúvel e matéria orgânica sobre a fixação de zinco pelo solo.** *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v.32, n.3, p.285-295, 1975.
- SIQUEIRA, M. de O. **Adsorção de zinco por solos com remoção da matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio.** Viçosa: UFV, 1998. 81p. (Dissertação - Mestrado em Agroquímica).

- STEFANUTTI, R. Eficiência de absorção e utilização de fósforo e zinco por variedades de arroz. Piracicaba: CENA:USP, 1997. 93p. (Tese - Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura).**
- TISDALE, S. L. ; NELSON, W. L. ; BEATONS, J. D. Soil fertility and fertilizers. 4.ed. New York : Macmillan, 1985. 754 p. Chapter 9 : Micronutrients and other beneficial elements in soils and fertilizers, p. 350-413.**
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/ Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)**
- VILELA, E. A.; RAMALHO, M. A. P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras – MG. Ciência e Prática, Lavras, v.3 n.1. p.71-79, jan./jun. 1979.**
- VILLA, M. R. Potássio em solos de várzeas e nutrição potássica do feijoeiro. Lavras:UFLA, 1999. 53p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).**

## CAPÍTULO 3

### EFEITOS DE DOSES DE ZINCO VIA SOLO, EM TRÊS CULTIVARES DE CAFEEIRO (*Coffea arabica* L.).

#### RESUMO

**SOUZA, Carlos Alberto Spaggiari.** Efeitos de doses de zinco via solo, em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Lavras:UFLA, 1999.159p. (Tese de Doutorado em Agronomia/Fitotecnia).

Conduziu-se um experimento em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com o objetivo de avaliar a resposta de mudas de três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), à aplicação de doses de Zn em solo LV, calcular os índices de eficiência e estimar os níveis críticos nas plantas. O experimento foi instalado em DBC, em fatorial 3 x 5 com quatro repetições, sendo: três cultivares (Catuai, Icatu e Mundo Novo) e 5 doses de Zn (0, 5, 10, 20 e 40 mg dm<sup>-3</sup>), na forma de sulfato de zinco p.a. O solo recebeu carbonato de cálcio e de magnésio, na relação 4:1 e uma adubação básica com macro e micronutrientes. Após a incubação por 21 dias, antes da repicagem das mudas que se encontravam no estádio de folhas cotiledonares, o solo foi amostrado e avaliado para todos os nutrientes e para Zn, pelo extrator DTPA. Cada parcela foi constituída por um vaso com 3 dm<sup>3</sup>, em que cultivaram-se duas plantas, por 210 dias. Após este período, as plantas foram colhidas, separadas em folha, caule e raiz, lavadas e secas até a obtenção do peso constante. Além da matéria seca, determinaram-se os teores de P e Zn. As mudas de cafeeiro responderam em produção de matéria seca à aplicação de Zn, com uma distinta magnitude entre as cultivares. Estimaram-se as doses de zinco equivalentes a 90% da matéria seca da parte aérea (MSPA), que foram: 8,90; 11,26 e 13,36 mg dm<sup>-3</sup> para Catuai, Icatu e Mundo Novo, respectivamente. Na dose equivalente a 90% da máxima MSPA, a produção estimada de matéria seca da parte aérea da cultivar Catuai foi de 18,5 e 45% superior, as cultivares Icatu e Mundo Novo, respectivamente. Os níveis críticos na parte aérea, correspondentes à dose que proporcionou 90% da MSPA, para cada cultivar foram: Catuai (49,40 mg kg<sup>-1</sup>); Icatu (51,50 mg kg<sup>-1</sup>) e Mundo Novo (88,82 mg kg<sup>-1</sup>). Nas doses maiores de zinco aplicadas, houve decréscimo na produção de matéria seca das três cultivares, indicando efeito tóxico do zinco.

### Chapter 3

SOUZA, Carlos Alberto Spaggiari, Effects of the doses of zinc via soil in three cultivars of coffee tree ( *Coffea arabica* L.). Lavras: UFLA, 1999. 159p. (Doctorate thesis in Agronomy/ Crop science).

#### ABSTRACT

An experiment was conducted in greenhouse of the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras, with the purpose of identifying the response of the cuttings from three cultivars of coffee tree (*Coffea arabica* L.) to the application of doses of Zn in LV soil, calculating the efficiency indices and estimating the critical levels in the plants. The experiment was set up in RBD, in 3 x 5 factorial with four replications, namely: three cultivars ( Catuai , Icatu and Mundo Novo) and five doses of Zn ( 0, 5, 10, 20 and 40 mg dm<sup>-3</sup>) as analytic grade zinc sulfate. The soil was applied calcium and magnesium carbonate at the 4: 1 ratio and a basic fertilization with macro and micronutrients. After incubation for 21 days, before transplanting of cuttings which were in the cotyledonary leaf stage, the soil was sampled and evaluated for all the nutrients and for zinc by the DTPA extractor. Each plot was made up from a 3 dm<sup>3</sup> pot in which were cultivated two plants for 210 days. After this period, the plants were harvested, separated into leaf, stem and root, washed and dried until constant weight was obtained. In addition to dry matter, the contents of P and Zn were determined. The coffee cuttings responded in dry matter yield to zinc application, as a distinct magnitude among the cultivars. The doses of zinc equivalent of 90 % of the aerial part dry matter (APDM) were estimated, which were: 8.90; 11.26 and 13, 36 mg dm<sup>-3</sup> for Catuai, Icatu and Mundo Novo, respectively. In dose equivalent to 90% of the maximum APDM, the yield estimated of the aerial part dry matter of the cultivar Catuai was of 18.5 and 45% superior to the cultivars Icatu and Mundo Novo, respectively. The critical levels in the aerial part, correspondent to the dose which provided 90% of the APDM for each cultivar, were Catuai ( 49.40 mg kg<sup>-1</sup>); Icatu ( 51.50 mg kg<sup>-1</sup>) and Mundo Novo ( 88.82 mg kg<sup>-1</sup>). At the highest doses of zinc applied , there was a decrease in dry matter yield of the three cultivars, denoting toxic effect of zinc.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, já existem mais de 4 bilhões de cafeeiros plantados, entre cafês arábica e robusta, o que faz de nosso país, o maior produtor mundial de café (Matiello, 1998). No entanto, a produtividade brasileira de um modo geral ainda é baixa, comparada ao grande potencial produtivo das cultivares melhoradas, principalmente, com relação ao arábica.

O melhoramento genético do cafeeiro desenvolveu cultivares e linhagens mais apropriadas para cada região, o que aumenta a capacidade de êxito de cultivo, se forem seguidas as normas e critérios técnicos estabelecidos pelas instituições que trabalham com esta cultura.

As cultivares Catuaí e Mundo Novo, com um número enorme de linhagens desenvolvidas com ampla adaptabilidade para as regiões respondem por aproximadamente 85 % do parque cafeeiro nacional. No entanto, essas duas cultivares são susceptíveis à ferrugem, o que levou os melhoristas desta cultura, a desenvolver um material que apresentasse certa tolerância, a esta doença, uma vez que essa, principalmente, em cafezais adensados tem causado sérios prejuízos. Trata-se da cultivar Icatu, que é um cruzamento da espécie *Coffea arabica* com a *Coffea canephora* e que apresenta uma elevada tolerância à ferrugem do cafeeiro (Mendes e Guimarães, 1996).

De nada adianta escolher uma cultivar mais produtiva para determinada região, se esta não for adequadamente adubada e manejada. Dentro deste contexto, a nutrição do cafeeiro com zinco é de extrema importância para a obtenção de altas produtividades, nas condições brasileiras.

O uso da adubação com zinco via solo, ainda não é uma prática tecnicamente recomendada, na cafeicultura brasileira, pois a maioria dos trabalhos só tem encontrado respostas positivas, apenas para os solos de textura média a arenosa (Malavolta, 1993).



Vários são os fatores que podem estar interferindo, para a obtenção de uma resposta positiva, ao zinco via solo em cafeeiro. Esses fatores foram devidamente revisados e discutidos no capítulo 1 deste trabalho, entre eles, há a indicação de que o cafeeiro, é pouco eficiente em absorver e translocar este micronutriente.

Porém, ainda há poucas informações sobre o comportamento de cultivares de cafeeiros diante da aplicação de zinco via solo. Matiello et al., (1987) encontraram que as linhagens de Mundo Novo são mais exigentes em zinco e magnésio, quando comparadas com as linhagens da cultivar Catuaí. Porém, a afirmação dos autores é baseada em trabalhos desenvolvidos em áreas, onde foi feita a aplicação foliar de zinco. Souza et al., (1997), em trabalho preliminar sobre a aplicação de zinco via solo, em três cultivares de cafeeiro, encontraram diferenças entre as cultivares estudadas.

A constatação de diferenças no comportamento nutricional tem grande interesse prático, pois permite alocar uma cultivar menos exigente, em solos mais pobres em determinado nutriente, ou a necessidade de adubar com mais intensidade ou freqüência com aquele nutriente, se uma cultivar pouco eficiente nutricionalmente, for escolhida para ser implantada. Tal fato visa maximizar a interação genótipo x nutriente.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar as respostas de três cultivares de cafeeiro, a diferentes doses de zinco, aplicadas via solo.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Aspectos gerais**

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de setembro de 1997 a abril de 1998.

As amostras de solo utilizadas foram provenientes da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Amarelo, com  $290 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, proveniente da localidade de Macuco, município de Itumirim - MG, pois segundo os dados levantados na literatura, é exatamente neste tipo de solo (menores teores de argila), que ocorrem as maiores probabilidades de se encontrarem respostas positivas, para a aplicação de zinco via solo, no cultivo do cafeeiro. Os atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo utilizado, encontram-se na Tabela 1.

## **2.2 Delineamento experimental**

O experimento foi instalado em Blocos ao Acaso, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial  $5 \times 3$ , sendo o primeiro fator: três cultivares de cafeeiro (Catuai Vermelho, Icatu e Mundo Novo); e o segundo fator: cinco doses de zinco ( zero, cinco, dez, vinte e quarenta  $\text{mg/dm}^3$ ). Foram quatro repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso, contendo duas plantas de cafeeiro. Cada vaso tinha capacidade para  $3 \text{ dm}^3$  de solo.

As doses de zinco foram estabelecidas, na expectativa de abranger a faixa da deficiência até à toxidez desse micronutriente para o cafeeiro.

## **2.3 Corretivos e material utilizados**

Os corretivos (carbonato de cálcio e magnésio p.a.), na proporção de 4:1 foram utilizados, com o objetivo de elevar o pH do solo para aproximadamente 5,5, pois foi nesta faixa de pH, onde foram encontradas as maiores respostas para o cafeeiro, em três solos usados no capítulo 2 deste trabalho. Após obter as doses necessárias para atingir o pH desejado, conforme curva de incubação descrita também no capítulo 2 deste trabalho, pesou-se individualmente a quantidade de corretivo necessária para cada vaso e procedeu-se a mistura das

TABELA 1. Atributos químicos, físicos e mineralógicos do solo LVm (camada 0 a 20 cm) utilizado neste experimento. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Atributos	LVm
pH <sup>2/</sup>	4,8
P <sup>3/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	1
K <sup>3/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	20
B <sup>4/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	0,1
Zn <sup>5/</sup> mg dm <sup>-3</sup>	0,9
Ca <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,7
Mg <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,2
Al <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,2
H + Al <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7
S <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,0
t <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,2
T <sup>6/</sup> mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,7
m %	17
V %	36
Areia Grossa <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	40
Areia Fina <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	640
Silte <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	30
Argila <sup>7/</sup> g kg <sup>-1</sup>	290
Mat. Org. <sup>8/</sup> dag kg <sup>-1</sup>	0,7
Ds <sup>9/</sup> dag kg <sup>-1</sup>	1,2
Fe <sub>a</sub> <sup>10/</sup> (%) ( Goethita )	1,5
Caulinita <sup>11/</sup> (%)	14
Gibbsita <sup>11/</sup> (%)	8

1/ Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

2/ pH em água, relação 1: 2,5; 3/ Extrator KCl 1N; 4/ Extrator Mehlich - 1; 5/ Extraído por colorimetria em Dicromato de Sódio; 6/ Método da pipeta, empregando-se NaOH como dispersante químico; 7/ Extraído por DTPA; 8/ Extraído por CaH(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. 2H<sub>2</sub>O com 500 ppm de P em ácido acético ; 9/ Método do anel volumetrico; 10/ Mehra e Jackson (1960); 11/ Quantificadas na fração argila desferrificada através de ATD (Análise Térmica Diferencial).

amostras de solo com o corretivo, vaso por vaso, juntamente com a adubação básica de plantio.

O zinco foi aplicado na forma de solução, sendo a fonte o  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  p.a.. Juntamente com a aplicação dos tratamentos, foi fornecida uma adubação básica de macronutrientes para todos os tratamentos, nas seguintes doses: 100  $mg\ dm^{-3}$  de N; 100  $mg\ dm^{-3}$  de P; 100  $mg\ dm^{-3}$  de K e 40  $mg\ dm^{-3}$  de S.

As fontes dos nutrientes foram as seguintes: fósforo -  $KH_2PO_4$  e  $NH_4H_2PO_4$ , potássio -  $KH_2PO_4$ ,  $K_2SO_4$  e KCl, nitrogênio -  $NH_4H_2PO_4$  e  $NH_4NO_3$ , enxofre -  $K_2SO_4$ , todos sais p.a.. Os micronutrientes fornecidos foram: boro (0,8  $mg/dm^3$ ), fonte  $H_3BO_3$ ; cobre (1,5  $mg/dm^3$ ), fonte  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ; ferro (4  $mg/dm^3$ ), fonte  $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ ; manganês (3,6  $mg/dm^3$ ), fonte  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  e molibdênio (0,15  $mg/dm^3$ ), fonte  $(NH_4)_6 Mo_7 O_{24} \cdot 4H_2O$ , todos também na forma de sais p.a..

Terminada a operação que efetuou a mistura dos corretivos e dos adubos, para cada vaso individualmente, adicionou-se água para atingir 70% da VTP, para facilitar a reação de neutralização. Os solos permaneceram incubados por 21 dias, sendo que após esta data, foi realizado o plantio das mudas de café.

As cultivares de café utilizadas foram: Catuai Vermelho (CH- 2077-2-5-44); Icatu Vermelho (MG- 2942) e o Mundo Novo (LCP 379/19), cujas sementes foram semeadas em germinador contendo areia lavada. Quando as plântulas atingiram o estágio de folhas cotiledonares, foram selecionadas e duas transferidas, para cada vaso de plástico contendo 3  $dm^3$  de solo, que já havia recebido a aplicação dos tratamentos.

Na Tabela 2, encontra-se a análise química do solo após a incubação e aplicação dos tratamentos. Os teores de zinco disponível (DTPA) foram semelhantes para todas doses, dentro das cultivares estudadas. Outros atributos, do solo como; baixo teor de matéria orgânica; CTC e de argila que interferem diretamente na disponibilidade de zinco para as plantas, também foram baixos.

TABELA 2. Atributos químicos do solo, após aplicação dos tratamentos e incubação, antes da repicagem das mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	pH	P	K	B	Zn	Ca	Mg	Al	H+ Al	S	t	T	m	V	M. Org.
Catuai	0	5,9	42	200	0,52	1,20	0,9	0,3	0,3	2,6	1,8	2,1	4,4	14	55	0,7
	5	6,0	46	172	0,49	2,67	0,8	0,5	0,3	2,1	2,6	2,9	4,7	10	56	0,6
	10	5,8	50	174	0,44	5,77	0,9	0,3	0,2	2,6	2,6	3,0	4,7	13	56	0,7
	20	5,9	46	180	0,55	12,40	0,8	0,6	0,3	2,3	2,7	3,0	4,8	10	54	0,6
	40	5,8	42	178	0,58	25,47	1,1	0,6	0,4	2,3	2,5	2,8	4,6	11	51	0,7
Icatu	0	5,7	46	174	0,58	1,13	1,2	0,5	0,3	2,6	2,4	2,6	4,7	13	54	0,6
	5	5,6	40	202	0,55	2,63	0,9	0,6	0,4	2,1	2,7	2,3	4,6	11	55	0,7
	10	6,0	42	200	0,55	5,13	0,8	0,6	0,4	2,1	2,5	2,3	4,8	14	56	0,7
	20	5,9	44	194	0,51	11,63	1,2	0,5	0,3	2,1	2,6	2,1	4,7	10	52	0,7
	40	5,8	50	190	0,55	23,40	1,0	0,7	0,3	2,1	2,6	2,3	4,4	11	54	0,6
M. Novo	0	6,0	46	190	0,55	1,07	0,9	0,7	0,4	2,3	2,2	2,9	4,7	10	54	0,6
	5	5,9	49	206	0,55	2,23	0,9	0,5	0,3	2,1	2,1	2,1	4,7	13	56	0,7
	10	5,8	50	180	0,56	5,70	1,1	0,6	0,2	2,2	2,6	2,9	4,8	14	56	0,7
	20	5,9	46	174	0,53	11,58	1,0	0,4	0,3	2,1	2,6	2,6	4,6	11	54	0,7
	40	5,7	46	200	0,55	22,95	0,8	0,5	0,2	2,4	2,1	2,3	4,7	10	51	0,7

## **2.4 Condução do experimento**

A umidade dos vasos foi mantida em 60% da VTP, conforme recomenda Freire et al. (1980), sendo aferida diariamente pela pesagem dos mesmos. A primeira adubação de cobertura com N, foi feita 40 dias após a repicagem das mudas e repetidas a cada mês, totalizando quatro aplicações. Como fonte de N foi utilizado o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , na dose de  $30 \text{ mg dm}^{-3}$ , em cada aplicação. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram feitos visando manter as plantas em condições adequadas de cultivo, sem interferir no resultado dos experimentos.

O experimento foi conduzido por 210 dias. No dia da colheita, avaliaram-se a altura da planta, o diâmetro do caule e a área foliar. Após essa avaliação, as plantas foram cortadas rente ao solo e o material vegetal separado em folha caule e sistema radicular.

## **2.5 Características avaliadas**

As características avaliadas, para este experimento foram:

- Altura da planta; diâmetro do caule; área foliar; matéria seca das raízes, caules e folhas;
- Teores e quantidades acumuladas dos nutrientes(P e Zn), em cada parte da planta (folha, caule e raiz).
- Teor de nutrientes no solo;

O procedimento utilizado para medir as características avaliadas neste experimento foi o mesmo utilizado no item 2.5 do Capítulo 2 deste trabalho, exceção feita para a área foliar que foi medida num integrador de área foliar portátil, marca Licor 6200, onde todas as folhas foram passadas no aparelho e o resultado, fornecido diretamente em  $\text{cm}^2$ , obtendo-se a área foliar total da planta. Foi considerada a área foliar média da parcela.

O material vegetal foi seco em estufa com circulação forçada de ar a  $70^\circ \text{C}$ , até obter o peso constante, para posterior pesagem e determinação da matéria

seca. Após a obtenção da matéria seca, o material foi moído separadamente (folha, caule e raiz), e acondicionado em frascos de vidros com tampas de plástico, até a realização das análises nutricionais em laboratório. Os teores de nutrientes na folha, caule e raiz foram determinados no extrato segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os extratos de matéria seca dos tecidos foram obtidos por digestão nitroperclórica, P foi determinado por colorimetria; e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

De posse do conteúdo dos nutrientes na parte aérea e no sistema radicular das plantas de cafeeiro, segundo os tratamentos, foram calculados os seguintes parâmetros: % de Recuperação e de Translocação do Nutriente Aplicado; Eficiência de Absorção e Eficiência de Utilização pelo método proposto por Siddiqi e Glass (1981).

**a) % de Recuperação do Nutriente Aplicado:**

$$\frac{\text{Conteúdo do nutriente na planta fertilizada} - \text{Conteúdo do nutriente na testemunha}}{\text{Quantidade do nutriente aplicado, via fertilizante}} \times 100$$

**b) Eficiência de Absorção do Nutriente**

$$\frac{\text{Conteúdo do Nutriente na Planta (raiz + caule + folha)}}{\text{Matéria Seca da raiz}}$$

**c) % de Translocação do Nutriente**

$$\frac{\text{Conteúdo do Nutriente na Parte Aérea}}{\text{Conteúdo do Nutriente na Planta (raiz + caule +folha)}} \times 100$$

d) Eficiência de Utilização do Nutriente (Siddiqi e Glass, 1981):

$$\frac{[\text{Matéria Seca Parte Aérea (caule + folha)]}^2}{\text{Quantidade do Nutriente na Biomassa (caule + folha)}}$$

## 2.6 Análise estatística

Para as características avaliadas foi realizada análise de variância. Se o fator era quantitativo e foi significativo pelo teste de F, realizou-se análise de regressão e para o fator qualitativo, teste de médias (Tukey 5%), de acordo com Pimentel Gomes (1990) e Banzatto e Kronka (1992), para o delineamento aplicado.

As análises de variância, bem como as equações de regressão ajustadas foram efetuadas utilizando-se o programas estatísticos SANEST (Universidade Federal de Pelotas) e SAEG (Universidade Federal de Viçosa). Este segundo para ajustar as equações de regressão cujo modelo foi raiz de x. Não foi necessário submeter os dados à transformações, devido a homocedasticidade e normalidade dos mesmos, verificados através do programa SAEG.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Características de crescimento

A análise de variância para matéria seca foliar (MSF), matéria seca caule (MSC); matéria seca parte aérea (MSPA) que corresponde à soma da matéria seca da folha + caule, matéria seca da raiz (MSR), matéria seca total (MST), área foliar (AF), altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC), que se encontra



na Tabela 3, mostrou que as cultivares e as doses de zinco influenciaram significativamente ( $P < 0,01$ ) tais características, a exceção de cultivares para DC e MSC, enquanto que a interação doses x cultivares só não foi significativa para as características AP, DC e MSC. Os resultados refletem as diferenças entre as cultivares estudados quanto a utilização de zinco no solo, mostrando variação na resposta das plantas às doses de zinco aplicadas.

As respostas encontradas nas variáveis estudadas, para as doses de zinco aplicadas, eram esperadas, uma vez que o solo utilizado no experimento, em condições de fertilidade natural, apresentou teores baixos de zinco, conforme as classes de fertilidade para zinco extraído por DTPA sugeridas por Raij et al., (1996). Estes autores, fazendo uma recomendação geral para tipos de solos e culturas, citam como nível baixo aquele menor que 0,6; médio de 0,6 a 1,2 e alto maior que 1,2 mg de Zn  $\text{dm}^{-3}$ . De acordo com a Tabela 2, após a incubação, os teores de zinco no solo, encontravam-se na faixa média de disponibilidade deste micronutriente para as plantas.

Para todas as cultivares estudadas, as equações quadráticas foram as que melhor se ajustaram para as características avaliadas (Figuras 1, 2 e 3). O modelo explica aumentos significativos na produção de matéria seca e área foliar, altura da planta e diâmetro do caule, com a aplicação das doses iniciais de zinco. Após atingir um ponto máximo, as produções de matéria seca e a área foliar decrescem em resposta às doses mais altas de Zn, indicando efeito tóxico do nutriente. Portanto, as menores produções observadas nas doses 0 (zero) e 40,0 mg de Zn  $\text{dm}^{-3}$ , são justificadas pela deficiência e toxicidade de Zn, respectivamente, haja vista o aparecimento de sintomas típicos de carência e toxidez deste micronutriente nas plantas. Este padrão de resposta sugere o comprometimento na produção de matéria seca e no crescimento das mudas de cafeeiro, em solos com baixo teor de Zn disponível, bem como em certas condições, onde se aplicaram altas doses deste micronutriente.

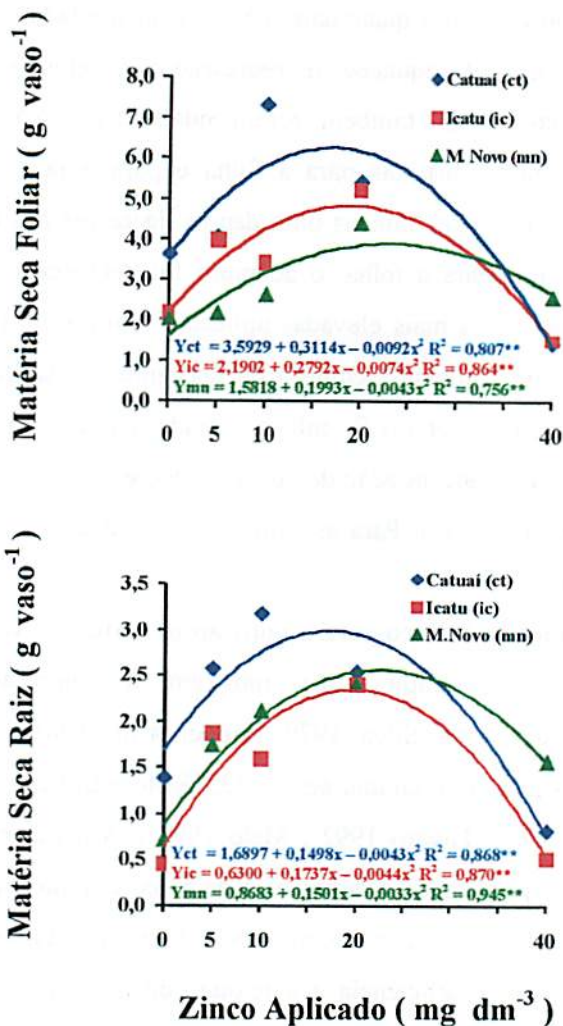
TABELA 3. Resumos das análises de variâncias para altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, e pesos da matéria seca da folha, caule, raiz, parte aérea e total obtidas nos experimentos sobre doses de zinco e cultivares na produção de mudas de caféiro, (*Coffea arabica* L.). UFPA, Lavras, MG, 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios									
		Altura da planta (cm)	Diâm. Do caule (mm)	Área Foliar ( $\text{cm}^2 \cdot 10^3$ )	Mat. seca foliar (g)	Mat. seca caule (g)	Mat. seca raiz (g)	Mat. seca aérea (g)	Mat. seca total (g)		
Doses de Zinco (Doses)	4	99,2234**	0,0248**	535,2311**	20,3814**	3,2077**	6,8566**	39,4284**	77,2274**		
Cultivares	2	134,2137**	0,0012 ns	280,5067**	13,7781**	0,0268 ns	2,6855**	15,0153**	26,6198**		
Interação Doses x Cultivares	8	14,5286 ns	0,0036 ns	94,3312**	5,5551**	0,6135 ns	0,7073**	9,5916**	14,9566**		
Blocos	3	18,5194 ns	0,0088 ns	31,6597 ns	2,2795 ns	0,2709 ns	0,0918 ns	4,0458 ns	4,5600 ns		
Resíduo Total	42 59	17,6401	0,0032	29,8388	1,4106	0,3016	0,1880	2,7226	3,8716		
CV (%)		25,61	16,77	31,78	34,53	47,31	25,25	35,87	31,15		

\*\* e ns significativo a 1% e não significativo pelo teste de F, respectivamente.

Na Figura 4, observa-se a quantidade de zinco acumulada nas folhas e raízes de mudas de cafeeiro. As equações de regressão que melhor se ajustaram para estas duas características, também foram quadráticas. No entanto, a tendência das curvas foram distintas para a folha e para a raiz. Na raiz, o acúmulo foi crescente nas doses iniciais para depois decrescer nas doses mais elevadas de Zn aplicadas. Para a folha, o acúmulo foi decrescente nas doses iniciais e aumentou nas doses mais elevadas aplicadas, para a cultivar Mundo Novo. O decréscimo observado no acúmulo de nutrientes nessa cultivar, nas doses iniciais é atribuído ao "efeito Steenbjerg", onde a produção de matéria seca cresce à medida que a concentração do nutriente decresce a níveis severos de deficiência (Steenbjerg, 1951). Para as cultivares Catuai e Icatu, esse efeito não ficou caracterizado.

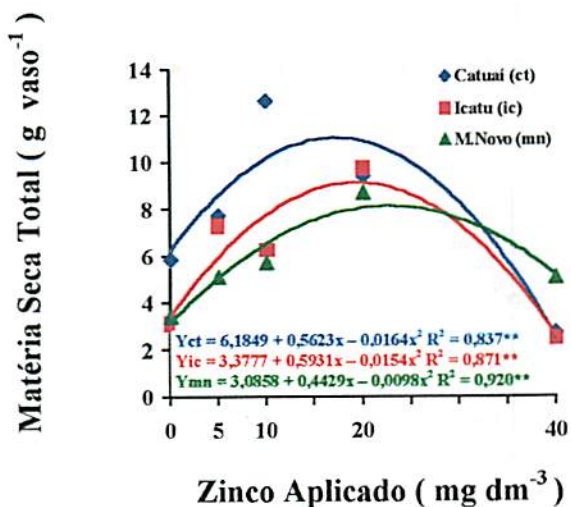
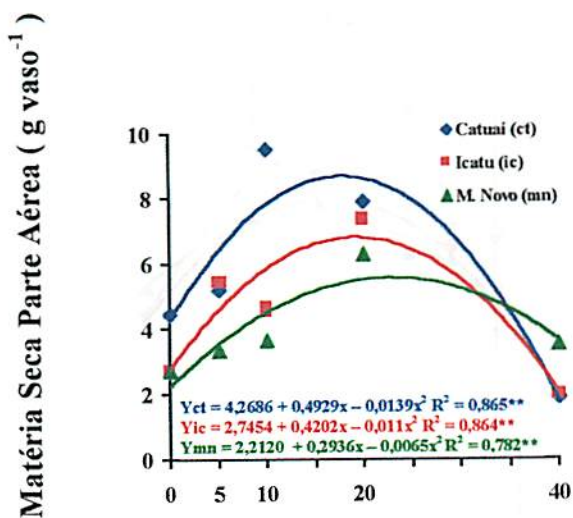
Quanto aos efeitos do zinco para a nutrição do cafeeiro, vários são os trabalhos existentes na literatura que mostram a importância deste micronutriente para esta planta (Silva, 1979; Kupper et al., 1981; Guimarães et al., 1983; Malavolta, Carvalho e Guimarães, 1983; Grillo e Silva, 1985; Santo, Santinato e Matiello, 1985; Fávaro 1992 ; Melo 1997 e Amaral et al., 1997). Muller, (1959), afirma que quando a deficiência de zinco é muito intensa, além do comprometimento da produção, o cafeeiro pode até morrer. Porém, devido a faixa muito estreita entre a deficiência e a toxidez de zinco para o cafeeiro, vários são os trabalhos que encontraram quedas na produção de matéria seca e de frutos, em decorrência da toxidez deste micronutriente. Neste trabalho, na dose de  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn, o crescimento das plantas foi tão comprometido, que algumas plantas das cultivares Icatu e Mundo Novo morreram, sugerindo que essas mortes aconteceram, em função da toxidez de zinco. Em função destas respostas, podemos afirmar que tanto a deficiência de zinco, quanto a toxidez são muito prejudiciais ao cafeeiro.



◆ = Catuaí (ct)    ■ = Icatu (ic)    ▲ = Mundo Novo (mn)

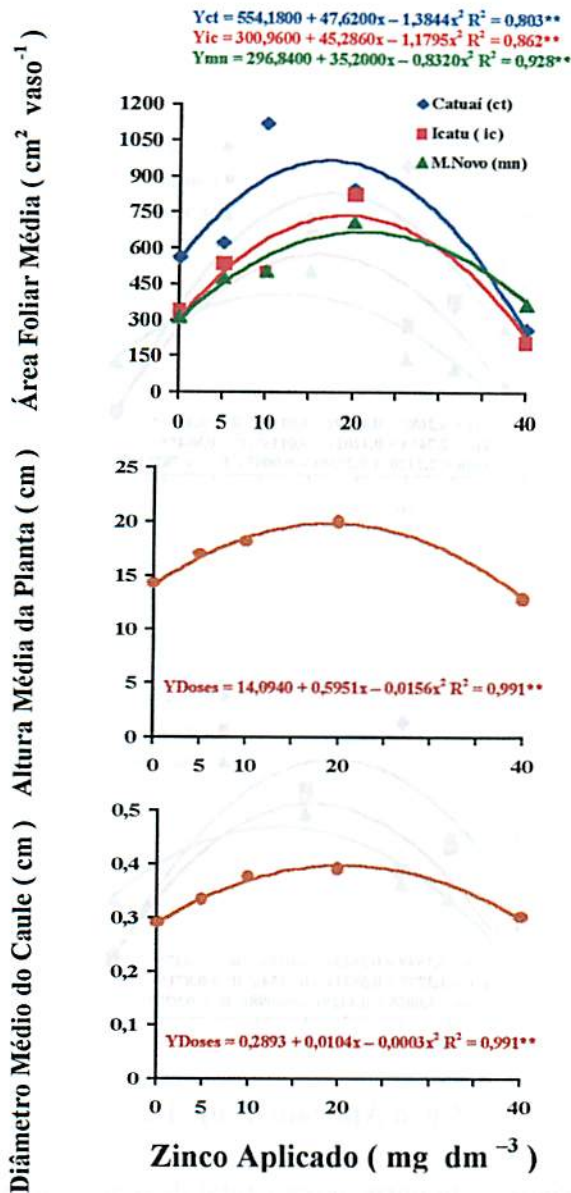
FIGURA 1. Matéria seca de folha e da raiz de mudas de três cultivares de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.



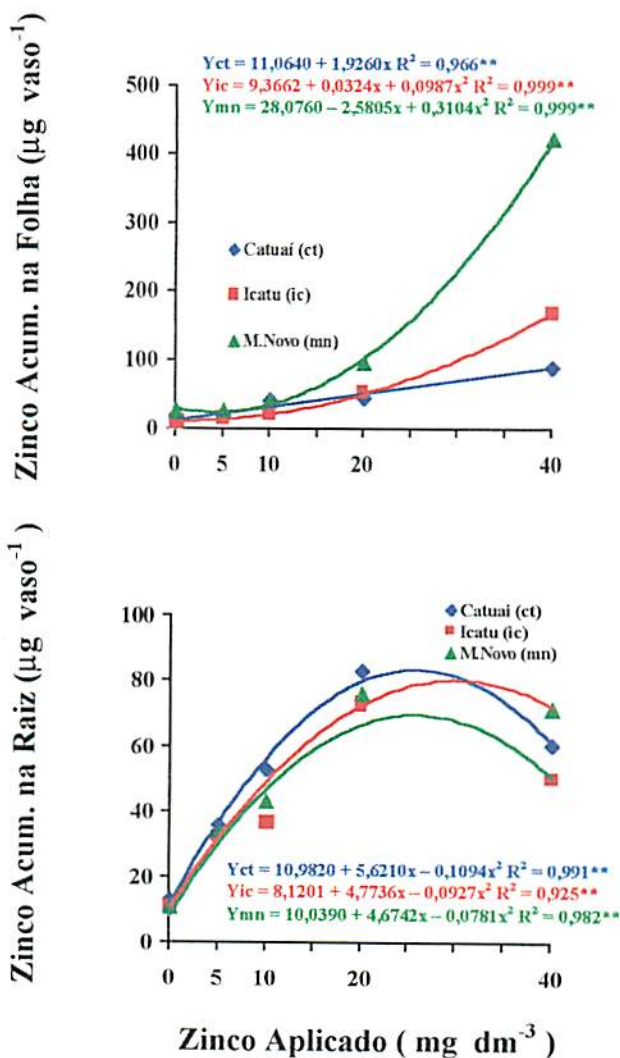
**FIGURA 2.** Matéria seca da parte aérea e total de mudas de três cultivares de café, em resposta às diferentes doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.



**FIGURA 3.** Área foliar média, altura média da planta e diâmetro médio do caule de mudas de três cultivares de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

**\*\*Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.**



**FIGURA 4.** Zinco acumulado na folha e na raiz de mudas de três cultivares de cafeeiro, em resposta às diferentes doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

\*\* Significativo ao nível de 1% pelo Teste de F.

Analisando ainda as Figuras 1, 2 e 3 pode verificar-se que as respostas encontradas foram quadráticas, porém com distinta magnitude entre as cultivares estudadas. Observa-se que a cultivar Catuaí apresentou maiores produções de matéria seca e área foliar. Em posição intermediária, encontra-se a cultivar Icatu. E com as menores produções para estas características avaliadas, a cultivar Mundo Novo.

A partir das equações de regressão da Figura 2, estimaram-se as produções de MSPA e as doses de zinco correspondentes à produção máxima e 90% da máxima (Tabela 4). No índice de 90% da produção máxima, estima-se representar a máxima eficiência econômica (Alvarez V. et al., 1988).

TABELA 4. Produção estimada de matéria seca da parte aérea (MSPA) correspondente à produção máxima e 90% da máxima e as doses de Zn estimadas para promover essas produções. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	MSPA (g vaso <sup>-1</sup> )		Doses de Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	
	90%	Máxima	90%	Máxima
Catuaí	7,21	8,01	8,90	17,03
Icatu	6,08	6,76	11,26	19,10
Mundo Novo	4,97	5,53	13,36	22,58

As doses de zinco que permitiram a máxima produção de matéria seca (MSPA) apresentaram grande variações entre as cultivares, por ser um micronutriente, ficando entre 17,03 e 22,58 mg dm<sup>-3</sup>. As doses necessárias para atingir 90% desta MSPA máxima, tiveram uma variação entre as cultivares de 8,90; 11,26 e 13,36 mg de Zn dm<sup>-3</sup> para Catuaí, Icatu e Mundo Novo, respectivamente (Tabela 4), apesar de todas as cultivares terem apresentado o mesmo comportamento quadrático que caracterizou a produção de MSPA (Figura 2). Na dose equivalente a 90% da máxima MSPA, a produção estimada



de matéria seca da cultivar Catuai foi 18,5 e 45% superior, as cultivares Icatu e Mundo Novo, respectivamente.

As doses de Zn correspondentes a 90% da máxima MSPA indicam uma redução média de 43% das doses necessárias para se atingir a produção máxima nas cultivares . Essa grande redução na dose do nutriente é acompanhada de uma redução de apenas 10% da produção, representando desta forma, uma considerável economia com a adubação e diminuição da relação custo/benefício.

Os dados (Figura 2 e Tabela 4) mostram uma distinta potencialidade das cultivares para a produção de matéria seca de mudas de cafeeiro, em função das doses de zinco aplicadas via solo. Esta potencialidade diferenciada apresentada pelas cultivares , certamente é função de diferenças entre os mesmos, quanto aos índices de eficiência de utilização de zinco. No caso específico do zinco, cujo acesso às raízes é altamente dependente da difusão, aspectos relacionados a morfologia do sistema radicular passam a ser tão importantes quanto aqueles ligados à capacidade de absorção em si, embora estes últimos devam também ser considerados

De acordo com Clarkson e Hanson (1980), a existência de um comportamento diferencial na nutrição de plantas, com relação às espécies, implica na existência de uma diferenciação nos mecanismos de absorção, translocação e redistribuição do nutriente, bem como sua utilização nos diversos processos metabólicos o que irá permitir à planta desenvolver-se adequadamente de acordo com as suas necessidades.

### 3.2 Índices de eficiência

Nas três cultivares ocorreu aumento na eficiência de absorção ( $\mu\text{g Zn mg}^{-1}$  de raízes) de Zn com o aumento do fornecimento do nutriente (Tabela 5). Nas condições de baixa disponibilidade de zinco, a eficiência de absorção é menor. Este resultado não indica que o mecanismo de absorção tenha se tornado

menos eficiente, mas possivelmente, porque sob baixa disponibilidade de zinco no solo, as raízes das mudas de cafeeiro tiveram sua absorção limitada, talvez devido à baixa concentração do nutriente no solo. Menezes (1998) também encontrou aumentos na intensidade de absorção de zinco, nos níveis mais altos de fertilização. No início do crescimento das plantas, o zinco é altamente exigido, por estar intimamente relacionado com a produção de auxina e conseqüentemente, com a divisão celular e crescimento das regiões meristemáticas.

Porém, como se observa pela Tabela 5, exceto na dose zero de Zn, as três cultivares apresentaram comportamento semelhante quanto a absorção de zinco, inclusive com os valores encontrados bem próximos, o que implica em dizer que a diferença existente na produção de matéria seca, não é explicada pela eficiência de absorção de zinco, entre as cultivares.

Houve semelhança no padrão de comportamento das cultivares quanto à eficiência de utilização com o aumento das doses de zinco aplicadas (Tabela 6). Assim, todas as cultivares apresentaram diminuição na eficiência de utilização ao aumentar o fornecimento de zinco. Porém, mesmo decrescente, a diminuição foi diferenciada para cada cultivar, sendo menor para a cultivar Catuaí, em posição intermediária para a Icatu e mais intensa para a Mundo Novo. Como houve aumento da produção de matéria seca, com as doses iniciais de zinco, acredita-se que mesmo com a diminuição do índice de eficiência, com o aumento das doses de Zn aplicadas, a quantidade de Zn absorvida foi suficiente para promover um adequado crescimento da planta.

É interessante ressaltar a alta capacidade da cultivar Catuaí em utilizar zinco quando este nutriente se encontra em baixas quantidades no solo (Tabela 6). Nestas condições, sua biomassa é maior que a da Icatu e este maior que a da Mundo Novo. Tal comportamento sugere que a eficiência de utilização de zinco

**TABELA 5. Eficiência de absorção de zinco por mudas de três cultivares de cafeeiro em resposta às doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.**

Cultivares	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
	.....µg de Zn mg <sup>-1</sup> de Raiz .....				
Catuai	0,05	0,40	1,13	2,51	3,97
Icatu	0,10	0,49	0,95	2,33	3,94
Mundo Novo	0,09	0,44	0,85	2,01	3,69

DMS ( 1% ): Interação Cultivares x Doses de Zinco = 0,18 µg Zn/mg Raiz  
CV = 11,81%.

como estimada neste trabalho, é uma boa característica para explicar a produção de matéria seca por cultivares de cafeeiro, na fase de muda.

Quanto à porcentagem de translocação, é interessante observar que sob baixa disponibilidade de zinco, a porcentagem de translocação deste nutriente das raízes para a parte aérea é elevada (Tabela 7). Sob estas condições, a planta transloca mais Zn para a parte aérea, visando manter o metabolismo mais intenso. Por outro lado, ocorre um decréscimo significativo na translocação, para as doses mais altas aplicadas, porque a planta compartimentaliza muito zinco na raiz. Como o zinco é um micronutriente, ou seja, é requerido pelas plantas em pequenas quantidades, com o aumento das doses aplicadas, a redução do zinco translocado, provavelmente ocorreu em função de algum distúrbio metabólico na raiz, provavelmente interagindo com o fósforo. Como a concentração de zinco nas raízes foi muito elevada (Tabela 8), as plantas de cafeeiro apresentaram algum mecanismo que impediram a sua translocação para a parte aérea, provavelmente uma interação P x Zn, nas raízes, como é citada por Bahia (1973) e Pereira (1985).

TABELA 6. Eficiência de utilização de zinco por mudas de três cultivares de cafeeiro em resposta às doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
	..... g <sup>2</sup> µg <sup>-1</sup> de Zn. 10 <sup>2</sup> .....				
Catuai	117,94	62,16	50,33	14,98	0,86
Icatu	56,02	41,13	21,67	14,31	0,73
Mundo Novo	21,32	14,62	13,76	9,32	0,89

DMS ( 1% ) : Interação Cultivares x D. de Zinco = 39,00 g<sup>2</sup> µg<sup>-1</sup> de Zn . 10<sup>2</sup>  
 CV = 56,80

TABELA 7. Porcentagem de translocação do zinco absorvido por mudas de três cultivares de cafeeiro em resposta às doses de zinco aplicadas via solo. UFAL, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	Doses de Zinco ( mg dm <sup>-3</sup> )				
	0	5	10	20	40
	..... %.....				
Catuai	23,94	6,71	5,09	5,04	13,03
Icatu	28,61	7,82	6,63	6,79	26,72
Mundo Novo	46,38	10,17	4,96	8,82	23,68

DMS ( 1% ) : Interação Cultivares x Doses de Zinco = 16,36%  
 CV = 44,46%

Observa-se pela Tabela 7, que a cultivar Mundo Novo apresenta maior translocação de Zn para a parte aérea que as cultivares Icatu e Catuai, principalmente, nas doses iniciais de Zn adicionadas ( Tabelas 7 e 9 ). Esta maior quantidade de zinco translocada, pode ter contribuído para que esta cultivar, apresentasse menor produção de matéria seca que as demais.

**TABELA 8.** Porcentagem de recuperação de zinco por mudas de três cultivares de cafeeiro em resposta às doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	Doses de Zinco ( mg / dm <sup>3</sup> )			
	5	10	20	40
	..... % .....			
Catuai	5,26	9,86	8,76	2,17
Icatu	4,76	4,07	7,63	1,38
Mundo Novo	3,90	5,01	6,61	3,99

DMS ( 1% ) : Interação cultivares x Doses de Zinco = 4,00 %  
 CV = 37,58%

A recuperação de Zn foi baixa em todas as cultivares estudadas em função das doses aplicadas desse nutriente (Tabela 8). A porcentagem de recuperação foi inferior a 6%. De um modo geral, a utilização de zinco aplicada ao solo é muito pequena. Isso indica que o nutriente teria assumido formas menos disponíveis às plantas, em função dos inúmeros atributos de solo que interferem na sua disponibilidade, aumentando a sua adsorção ao solo.

A planta absorve uma pequena quantidade do zinco aplicado ao solo, na forma de fertilizante, pois a maior parte é fixada ao solo, ou se apresenta na forma de quelatos estáveis (Alvarez, Obrador e Rico, 1996). Outro fator que pode explicar este fato é que o sistema radicular do cafeeiro não estava ocupando toda a área disponível do vaso, mesmo nos tratamentos que apresentaram maior crescimento. Como o zinco foi distribuído uniformemente em todo o vaso sugere-se que devido ao tamanho do sistema radicular, nem todo o zinco disponível no substrato foi utilizado pela planta. O cafeeiro é uma planta de crescimento lento, como o período de duração do experimento, foi relativamente curto (210 dias), é possível que devido a este lento crescimento apresentado pelo cafeeiro, e o curto espaço de tempo estudado tenham

interferido na porcentagem de zinco recuperada. Franco (1997) ao estudar translocação e compartimentalização de zinco em cafeeiro, aplicado via raízes encontrou alterações mínimas no crescimento de mudas de cafeeiro, devido às doses de zinco aplicadas. Um dos motivos levantados pelo autor, para essa baixa resposta, foi o crescimento muito lento das plantas de cafeeiro.

TABELA 9. Teores médios de zinco na matéria seca da parte aérea e raízes de mudas de três cultivares de cafeeiro, submetidas às diferentes doses de zinco aplicadas via solo. UFLA, Lavras, MG, 1999.

TRATAMENTOS	TEORES DE ZINCO mg kg <sup>-1</sup>				TOTAL
	FOLHA	CAULE	RAIZ	P. AÉREA	
Catuai Zn 00	2,40	10,48	39,73	12,87	52,60
Catuai Zn 05	4,35	42,27	368,32	46,62	414,94
Catuai Zn 10	5,97	67,65	1075,53	73,62	1149,15
Catuai Zn 20	8,35	183,33	2381,68	191,68	2573,37
Catuai Zn 40	59,09	830,50	3445,48	889,59	4335,07
Icatu Zn 00	4,61	7,02	74,39	11,63	86,02
Icatu Zn 05	3,23	40,99	448,98	44,22	493,20
Icatu Zn 10	5,36	65,35	891,28	70,71	961,99
Icatu Zn 20	9,66	154,00	2169,43	163,66	2333,10
Icatu Zn 40	111,97	794,75	2871,83	906,72	3778,54
Mundo Novo Zn 00	11,53	13,63	45,59	25,15	70,74
Mundo Novo Zn 05	11,79	44,46	394,90	56,25	451,15
Mundo Novo Zn 10	16,30	49,59	806,12	65,89	872,00
Mundo Novo Zn 20	21,23	185,63	1835,17	206,85	2042,02
Mundo Novo Zn 40	157,69	1088,18	2803,63	1245,86	4049,49
DMS Doses x Cultivares (mg kg <sup>-1</sup> )	38,46	54,11	315,82	45,18	327,31

A maior concentração de Zn encontrada no caule para este experimento, em relação às folhas (Tabela 9), corrobora com os dados encontrados por Franco (1997). Segundo esse autor, para plantas de cafeeiro, o zinco aparentou ser pouco móvel no floema e, essa concentração de Zn no caule, pode participar

no suprimento deste micronutriente, em períodos de deficiência de Zn, apesar da reserva ser pequena, pois a matéria seca do caule é baixa, em relação ao restante da planta.

### 3.3 Níveis críticos de Zn na planta

Era esperado que as concentrações de Zn na matéria seca da parte aérea de mudas de cafeeiro, na época da colheita das plantas, aumentassem com as doses aplicadas. No entanto, apesar dos valores apresentarem de forma crescente, com as doses aplicadas, a equação de regressão que melhor se ajustou foi a quadrática (Tabela 10). Os coeficientes lineares das equações, que indicam o teor foliar de Zn na dose 0 (zero), mostram uma capacidade bastante diferenciada das cultivares em utilizar esse micronutriente sob condições naturais. A cultivar Mundo Novo foi aquela que apresentou maior quantidade de Zn, mas esta maior quantidade do micronutriente não foi utilizada para conversão em matéria seca, haja vista, que esta cultivar foi a que apresentou as menores produções de matéria seca, entre as que foram estudadas, como mostra a Figura 2. Essa maior quantidade de Zn apresentada pela cultivar Mundo Novo, que não foi convertida em matéria seca pode ser considerado consumo de luxo. Os acréscimos estimados nos teores de Zn para cada unidade aplicada, mostrado pelos coeficientes angulares das equações, evidenciam magnitude semelhante nesses aumentos para as cultivares Catuai e Icatu e magnitude superior aos demais para a cultivar Mundo Novo.

Substituindo-se nas equações da Tabela 10, para cada cultivar, as doses de Zn correspondentes a 90% da MSPA (Tabela 4), estimaram-se os níveis críticos foliares de Zn, que são apresentados na Tabela 10, juntamente com as equações de regressão e o coeficiente de determinação.

TABELA 10. Equações de regressão ajustadas para os teores de Zn na MSPA ( $Y = \text{mg kg}^{-1}$ ) na época da colheita, como variável dependente das doses de Zn aplicadas ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) e níveis críticos para 90% da MSPA máxima. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	Equação	R <sup>2</sup>	Níveis Críticos
Catuai	$Y = 30,1407 - 3,3405x + 0,6185x^2$	0,998**	49,40
Icatu	$Y = 35,3385 - 5,9479x + 0,6900x^2$	0,996**	51,50
Mundo Novo	$Y = 54,7858 - 11,3443x + 1,0244x^2$	0,997**	88,82

\*\* Significativo a 1% pelo Teste de F.

Observa-se pela Tabela 10, que a cultivar Mundo Novo tem um requerimento maior de Zn que as demais. Na Tabela 5, verifica-se que na dose 0 (zero) de Zn, a eficiência de absorção dessa cultivar é maior. Observando estas duas Tabelas (5 e 10), pode-se concluir que as plantas da cultivar Mundo Novo crescem menos mas precisa de muito zinco, comparada às cultivares Catuai e Icatu.

Faquin (1994) e Marschner (1995), mencionam que as espécies de plantas diferem de forma significativa quanto ao requerimento de zinco. A concentração ótima de zinco, de acordo com as espécies, varia de 20 a 120 mg kg<sup>-1</sup> na matéria seca das plantas. Deficiências do elemento são usualmente associadas com teores menores que 20 mg kg<sup>-1</sup> e toxidez acima de 400 mg kg<sup>-1</sup> (Faquin, 1994).

De acordo com Fávoro (1992), a expansão da área foliar em cafeeiros adultos em condições de campo, foi maior quando os teores de zinco situaram-se entre 20 e 30 mg kg<sup>-1</sup>. Sendo que abaixo ou acima dessa faixa, houve decréscimo na área foliar acumulada, atribuído à deficiência e toxidez, respectivamente.



### 3.4 Relação fósforo/zinco

A análise de variância (Anexo 3D) mostra que houve efeito significativo de cultivares, doses de Zn e da interação cultivares x doses de Zn na relação P/Zn da matéria seca parte aérea de mudas de cafeeiro, aos 210 dias após a repicagem. O efeito das doses de Zn nessa relação em cada cultivar estudado segue o modelo quadrático base raiz quadrada decrescente, que descreve um decréscimo acentuado na relação P/Zn, com o aumento das doses de Zn e posterior estabilização nas doses mais altas. As equações ajustadas com os seus respectivos coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 11, juntamente com os valores da relação P/Zn estimados pelas equações para as doses correspondentes a 90% da produção máxima de MSPA.

A variação observada nos valores da relação P/Zn, na dose referente a 90% da produção máxima de MSPA deve-se provavelmente, às diferenças na eficiência de utilização e translocação de Zn, entre as cultivares estudadas. Malavolta (1993); De Muner (1996) e Guimarães (1997), afirmam que as plantas terão um desenvolvimento normal se houver um equilíbrio na absorção desses nutrientes.

Observa-se, pelos coeficientes lineares das equações, que quando não houve aplicação de Zn ao solo (dose zero), as plantas atingiram os maiores valores de relação P/Zn: 106, 97 e 50, respectivamente para as cultivares Catuaí, Icatu e Mundo Novo, respectivamente.

Diante de tais circunstâncias, deve-se considerar a relação P/Zn na planta, como indicadora do estado nutricional de Zn, e não somente a concentração de cada nutriente isoladamente. Malavolta (1993), descreve que a relação P/Zn que tem sido considerada ideal para o cafeeiro deve estar entre 125 a 187. Em estudo conduzido por Guimarães et al., (1997), sobre este mesmo assunto, esses autores encontraram que a faixa mais adequada para o cafeeiro,

TABELA 11. Equações de regressão ajustadas para a relação P/Zn (Y) MSPA de mudas de cafeeiro, aos 210 dias após a repicagem, como variável dependente de doses de Zn aplicadas no solo ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ) e relação P/Zn estimada nas doses correspondentes a 90% da MSPA máxima. UFLA, Lavras, MG, 1999.

Cultivares	Equação	$R^2$	Relação P/Zn
			90% máx.
Catuai	$Y = 106,4460 - 39,1669x^{0,5} + 3,6153x$	0,980**	21,78
Icatu	$Y = 97,5059 - 35,2261x^{0,5} + 3,2053x$	0,992**	15,39
Mundo Novo	$Y = 50,4434 - 13,1716x^{0,5} + 0,8405x$	0,990**	13,53

\*\* Significativo a 1% pelo Teste de F.

para a relação P/Zn, está entre 100 a 150. Porém, os valores encontrados por esses autores referem-se à plantas adultas e não à mudas de cafeeiro, como é o caso deste experimento.

Nas doses que permitiram a produção de 90% da MSPA, as relações P/Zn foram 21,78, 15,40 e 13,53, respectivamente, para as cultivares Catuai, Icatu e Mundo Novo, mostrando que para as mudas a relação P/Zn ideal parece ser bem inferior que a adequada para plantas adultas.

Relações P/Zn de 3,60; 4,10 e 8,30, para Catuai, Icatu e Mundo Novo, respectivamente (dose 20,0 mg de Zn  $\text{dm}^{-3}$ ) foram relacionadas com a diminuição da MSPA e MST no cafeeiro, mostrando que, com o aumento da disponibilidade de Zn no solo, as plantas o absorveram mais em relação ao P, causando um desequilíbrio nesta relação.

Portanto, ao estudar os nutrientes fósforo e zinco em cafeeiro, deve-se considerar a relação P/Zn na planta, como indicadora do estado nutricional de Zn, e não somente a concentração de cada nutriente isoladamente. Caso essa relação não esteja dentro da faixa aceitável, tudo indica que ter-se-á problemas com a nutrição desses dois nutrientes, principalmente com o zinco.

## 4 CONCLUSÕES

As mudas de cafeeiro das três cultivares estudadas, responderam em produção de matéria seca à aplicação de zinco no solo, devido aos médios teores disponíveis do micronutriente no solo.

Os níveis críticos de Zn na MSPA equivalentes à 90% da produção máxima para cada cultivar foram: Catuaí (49,40 mg kg<sup>-1</sup>); Icatu (51,50 mg kg<sup>-1</sup>) e Mundo Novo (88,82 mg kg<sup>-1</sup>) indicando que as diferenças entre estes, afetam o coeficiente de utilização e, conseqüentemente, os níveis críticos internos do micronutriente.

As doses de zinco mais elevadas diminuíram a produção de matéria seca das mudas de cafeeiro das três cultivares, mostrando que as quantidades de Zn acumuladas atingiram níveis tóxicos para estas plantas.

Há diferença entre as cultivares quanto à relação P/Zn, na matéria seca da parte aérea de mudas de cafeeiro. Os valores encontrados mostram que para as mudas, a relação P/Zn ideal, parece ser bem inferior que à adequada para plantas adultas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ J. M.; OBRADOR, A.; RICO, M. I. Effects of chelated zinc, soluble and coated fertilizers, on soil zinc status and zinc nutrition of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.*, New York, v.27, n. 1/2 , p. 07-19, jan. 1996.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BRAGA, J. M.; NEVES, J.C.L. ; BARROS, N.F.; RIBEIRO, A.C.; DEFELIPO, B.V. Avaliação da fertilidade do solo – metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, Viçosa, MG, 1988. Resumos...Viçosa: MG:UFV, 1988. p.68-69.

- AMARAL, A. S. do.; BARROS, U.V.; BARBOSA, C. M.; MATIELLO, J.B. Fontes e doses de zinco na formação do cafeeiro, em solo LH: Efeitos na produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 23., Manhuaçu (MG), 1997. Anais... Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ/PNFC, 1997. p.28-30.
- BAHIA, F.G.F.T.C. Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem em dois solos de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1973. 38p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. Experimentação agrícola. Jaboticabal : FUNEP, 1992. 247 p.
- CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. Annual Review Plant Physiology, Vol 31: 239-298. 1980.
- DE MUNER , L. H. Disponibilidade de zinco para milho em resposta à correção da acidez e à localização de fósforo no solo. Viçosa: UFV, 1996. 102 p. ( Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- EUCLYDES, R.F. Manual de utilização do programa SAEG (sistema paa análises estatística e genética). Viçosa:Universidade Federal de Viçosa, 1983. 59p.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FÁVARO, J. R. A. Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco, na presença de cloreto de potássio. Viçosa;UFV, Imprensa Universitária. 1992. 91 p. (Tese - Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- FRANCO, I. A. de L. Translocação e compartimentalização de Zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas. Viçosa : UFV, 1997. 68 p. ( Tese - Doutorado em Fitotecnia ).
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. H. DE Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 4, n.1, p. 5-8, jan./abr., 1980.
- GRILLO, J.M. SILVA, J.B.S. Efeito da aplicação do zinco em cobertura no solo sobre o teor de zinco e produção de matéria seca de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em casa de vegetação. Ciência e Prática, Lavras, v. 9, n.1, p.105-117, jan./jun. 1985.

- GUIMARÃES, P.T. G. ; CARVALHO, J. G. de ; MENDES, C. C. A. ; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição Mineral do Cafeeiro. XXXVIII. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de zinco na produção e composição mineral das folhas do cafeeiro. (*Coffea arabica* L.) Anais da ESALQ, Piracicaba, v. 40, n. 1, p. 497-507, 1983.
- GUIMARÃES, P.T. G. ; SILVA, E. de B.; NOGUEIRA, F. D. ; MELO, E.M. de. Efeito da quantidade e do número de aplicações de sulfato de zinco sobre a produção e relação P/Zn do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23, 1997. Manhuaçu-MG. Trabalhos Apresentados... Rio de Janeiro: MAA/PROCAFE/PNFC, 1997. p. 155-156.
- KUPPER, A.; CARVALHO, C.H.S.; MARTINS, M.; SANTINATO, R.; SILVA, O. A. da. GARCIA, A. W. R. Efeito do óxido e sulfato de zinco aplicados na cova de plantio do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 9, 1981, São Lourenço, MG, 1981. Resumos... Rio de Janeiro: IBC. , 1981. p.455 – 458.
- MALAVOLTA, E. ; CARVALHO, J.G. de ; GUIMARÃES, P. T. G. Effect of micronutrients on coffee grown in Latin American. *Journal of Coffee Research*, v. 13, n. 3, p. 64-77, 1983.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. Colheitas econômicas máximas. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 1993. 210 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 201 p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATHYS, W. The role of malate, oxalate, mustard oils glucosides in the evolution of zinc resistance in herbage plants. *Plant Physiologist*, v. 40, p.130-136, 1977.
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; CAMARGO, A.P.; ALMEIDA, S.R. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados - instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil. Rio de Janeiro, SEPRO/COTEC/DIPRO/IBC, 1987. 148p.
- MATIELLO, J. B. Brasil com 4 bilhões de árvores. In : ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. *Coffee Business*, 4.ed., Rio de Janeiro. 1998, p.16 – 17.

- MATIELLO, J. B. *Cafecultura moderna: Aspectos de uma nova visão*. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1995. 210 p.
- MELO, E. M. de Efeito da aplicação foliar de sulfato de zinco na produção e na composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), Lavras: UFLA, 1997. 66 p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, R.J. *Genética e melhoramento do cafeeiro*. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 99p.
- MENEZES, A. A. Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Viçosa, MG : UFV, 1998. 147 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
- MULLER, L. E. *Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (Coffea arabica L.)*. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1959. 36p. (Boletín Técnico, 4).
- MULLER, L. E. *Coffe nutrition*. In: Childers, N. F. (ed.). *Temperat to tropical fruit nutrition*. Horticultural publication, The State New Brunswick: University, p. 685-776, 1966.
- OLIVEIRA, G. D. ; HAAG, H. P. ; SARRUGE, J. R. ; COSTA, J.D. & DECHEN, A.R. Adubação não radicular com duas fontes de zinco em *Coffea arabica* L. "Mundo Novo". *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v. 38, p. 23-69, 1981.
- PEREIRA, J. F. ; CRAFTS, A. S. ; YAMAGUCHI, S. *Translocation in coffee plants*. Turrialba, v. 13, n.1, p. 64-79, ene./mar., 1963.
- PEREIRA, L.F. *Efeitos da aplicação de calcário, fósforo e zinco no crescimento e nutrição do trigo (Triticum aestivum L.) e arroz (Oryza sativa L.) em dois solos de várzea do Estado de Minas Gerais*. Lavras: ESAL, 1985. 135 p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso Estatística Experimental*, 13.ed., Piracicaba: Nobel , 1990, 468p.
- SARRIÉS, A.G.; OLIVEIRA, J.C.V de; ALVES, M.C. SANEST. Piracicaba:ESALQ/CIAGRI, 1992. 80p. (Série didática CIAGRI, 06)
- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.N.C. (eds). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

- SANTO, J. O. E.; SANTINATO, R.; MATIELLO, J. B. Dose e modo de aplicação dos micronutrientes zinco, boro e cobre, na formação do cafeeiro, em solo Latossolo Vermelho-amarelo Húmico, no Jequitinhonha, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985 Caxambú , MG. Anais... Rio de Janeiro: IBC , 1985. p. 226-227.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition* , New York , v. 4, n 3, p. 289 - 302, 1981.
- SILVA, J. B. S. da. Influência de doses de sulfato de zinco, aplicadas por via foliar, sobre a produção do cafeeiro. Lavras:ESAL, 1979. 62p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SOUZA, C. A. S.; GUIMARÃES, P.T.G.; CORRÊA, J. B.; DIAS, F. P. Efeitos de doses de zinco via solo, em três cultivares de cafeeiro ( *Coffea arabica* L.). In : CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS. 23, Manhauçu, 1997. Trabalhos apresentados... Rio de Janeiro: SDR/PROCAFÉ/ PNFC CBP&D – Café/DENAC/SEAG- MG, 1997. p.110–111.
- STEENBJERG, F. Yield curves and chemicals plant analysis. *Plant and Soil*, The Hague, v.3, p.97-109, 1951.

## ANEXOS

### LISTA DE TABELAS

#### Capítulo 2

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
2A	Resumo das análises de variância para as características de crescimento, obtida no experimento sobre dose de zinco e diferentes doses de calcário, em solo LVm, na produção de mudas de cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.). UFLA, Lavras, MG, 1999.....	152
2B	Resumo das análises de variância para as características de crescimento, obtidas no experimento sobre dose de zinco e diferentes doses de calcário, em solo LV, na produção de mudas de cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.). UFLA, Lavras, MG, 1999.....	153
2C	Resumo das análises de variância para as características de crescimento, obtidas nos experimentos sobre doses de zinco e diferentes doses de calcário, em solo LR, na produção de mudas de cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.). UFLA, Lavras, MG, 1999.....	154
2D	Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) do conteúdo de nutrientes na matéria seca da parte aérea (caule + folha) de mudas de cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.), no solo LVm, em função das doses de zinco aplicadas via solo e diferentes doses de calcário. UFLA, Lavras – MG, 1999.....	155



- 2E Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) do conteúdo de nutrientes na matéria seca da parte aérea (caule + folha) de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), no solo LV, em função das doses de zinco aplicadas via solo e diferentes doses de calcário. UFLA, Lavras – MG, 1999..... 156
- 2F Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) do conteúdo de nutrientes na matéria seca da parte aérea (caule + folha) de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), no solo LR, em função das doses de zinco aplicadas via solo e diferentes doses de calcário. UFLA, Lavras, MG, 1999..... 157

### Capítulo 3

- 3A Resumo das análises de variância para altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, e pesos da matéria seca da folha, caule, raiz, parte aérea e total obtidas nos experimentos sobre doses de zinco e diferentes doses de zinco e cultivares, na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.).UFLA, Lavras, MG, 1999..... 158
- 3B Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) da relação P/Zn na matéria seca da parte aérea, e índice de eficiência de mudas de três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), em função das doses de zinco aplicadas via solo UFLA, Lavras, MG, 1999..... 159

TABELA 2A. Resumo das análises de variância para as características de crescimento; altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, comprimento do segundo e quinto internódios e pesos da matéria seca da folha, caule, raiz, parte aérea (folha + caule) e total (folha + caule + raiz), obtidas nos experimentos sobre doses de zinco e diferentes doses de calcário, em solo LVm na produção de muda cafeeiro, (*Coffea arabica* L.). UFLA, Lavras, MG, 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrado Médio									
		Mat. seca parte aérea	Mat. seca total	Mat. seca raiz	Mat. seca foliar	Mat. seca caule	Altura da planta	Área foliar	Diâm. do caule	Comp. 2º internódio	Comp. 5º internódio
Doses de Zinco (Doses)	4	3,9744**	5,4197**	0,1617*	3,0194**	0,1060**	43,4106**	60257,6292**	0,0037**	0,0849*	0,5439*
Doses de Calcário (Dcalc.)	2	8,9272**	14,3836**	0,7540**	2,0582*	0,2778**	20,1414**	52656,0012*	0,0175**	0,0139 ns	0,5472 ns
Interação Doses x Dcalc. Blocos	8	1,1766**	1,5547**	0,0525 ns	0,4730 ns	0,0716*	9,7230**	25110,8801*	0,0021*	0,0674 ns	1,1722**
Resíduo	3	0,7050*	1,3917**	0,1679*	1,2486 ns	0,0927*	19,5422**	14761,6878 ns	0,0051**	0,1468**	0,5234 ns
Total	42	0,2122	0,3079	0,0447	0,4730	0,0294	3,0945	11103,7957	0,0009	0,0327	0,1939
CV (%)	59	17,63	17,20	34,39	31,76	32,76	1,60	27,22	10,25	43,59	31,89

\*, \*\* e ns significativo a 5%, 1% e não significativo pelo Teste de F, respectivamente.

**TABELA 2B.** Resumo das análises de variância para as características de crescimento: altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, comprimento do segundo e quinto internódios e pesos da matéria seca da folha, caule, raiz, parte aérea (folha + caule) e total (folha + caule + raiz), obtidas nos experimentos sobre doses de zinco e diferentes doses de calcário, em solo LV na produção de mudas de cafeeiro, (*Coffea arabica* L.). UFLA, Lavras, MG, 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrado Médio									
		Mat. seca parte aérea	Mat. seca total	Mat. seca raiz	Mat. seca foliar	Mat. seca caule	Altura da planta	Área Foliar	Diâm. do caule	Comp. 2º internódio	Comp. 5º internódio
		.10 <sup>3</sup>									
Doses de Zn (Doses)	4	9,8606**	15,6858**	0,6805**	5,1848**	0,7572**	88,6109**	136,2344**	0,0150**	0,2326 ns	1,9854**
Doses de Calcário (Dcalc.)	2	105,5535**	167,2426**	7,0749**	48,5555**	11,0774**	509,4388**	997,5857**	0,0982**	1,4816**	12,5589**
Interação Doses x Dcalc.	8	1,0498 ns	1,4230 ns	0,1052 ns	0,6376 ns	0,1250 ns	3,4457 ns	10893,9899 ns	0,0007 ns	0,2938 ns	0,7046*
Blocos	3	0,1585 ns	0,2402 ns	0,0255 ns	0,0312 ns	0,0592 ns	8,1420 ns	4138,6221 ns	0,0026 ns	0,1792 ns	0,1340 ns
Resíduo	42	1,9805	3,1114	0,1459	1,0179	0,2215	10,9176	24070,4334	0,0009	0,1831	0,2944
Total CV (%)	59	21,76	22,12	25,36	20,19	31,99	13,85	18,25	7,66	30,03	16,72

\*, \*\* e ns significativo a 5%, 1% e não significativo pelo Teste de F, respectivamente.

TABELA 2C. Resumo das análises de variância para altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, comprimento do segundo e quinto internódios e pesos da matéria seca da folha, caule, raiz, parte aérea (folha + caule) e total (folha + caule + raiz), obtidas nos experimentos sobre doses de zinco e diferentes doses de calcário, em solo LR na produção de mudas de cafeeiro, (*Coffea arabica* L.). UFLA, Lavras, MG, 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrado Médio									
		Mat. seca parte aérea	Mat. seca total	Mat. seca raiz	Mat. seca foliar	Mat. seca caule	Altura da planta	Área foliar .10 <sup>3</sup>	Diâm. do caule	Comp. 2º internódio	Comp. 5º internódio
Doses de Zinco (Doses)	4	1,7809 ns	2,6024 ns	0,0802 ns	0,7582 ns	0,2168 ns	6,1497 ns	22,4892 ns	0,0049**	0,3124**	0,0871 ns
Doses de Calcário (Dcalc.)	2	96,7354**	149,7434**	5,7892**	51,7936**	7,1226**	517,6829**	1046,0587**	0,1316**	1,8121**	19,1300**
Interação Doses x Dcalc.	8	3,4807**	5,1122**	0,1672 ns	1,9751**	0,2291*	17,7286**	47,4043**	0,0028*	0,0816 ns	0,7063 ns
Blocos	3	0,5929 ns	1,0986 ns	0,0922 ns	0,2472 ns	0,0843 ns	3,3852 ns	18,5584 ns	0,0025 ns	0,1329 ns	0,2723 ns
Resíduo	42	0,9410	1,6008	0,0994	0,4775	0,0875	4,7179	15,1371	0,0013	0,0818	0,4066
Total CV (%)	59	23,12	24,41	31,90	21,14	31,89	11,28	21,88	9,98	43,01	26,59

\*, \*\* e ns significativo a 5%, 1% e não significativo pelo Teste de F, respectivamente.

TABELA 2D. Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) do conteúdo de nutrientes, na matéria seca da parte aérea (caule + folha) de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), no solo LVm em função das doses de zinco aplicadas via solo e diferentes doses de calcário. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrado Médio										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
									x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>
Doses de Zinco (Doses)	4	7268,9764**	5,8594**	2711,3387**	208,8364 ns	12,4520**	8,3879**	4055,6694**	1,1099**	113,8833**	348,7954**	217,4374**
Doses de Calcário (Dcalc.)	2	2130,8809 ns	1,6753 ns	1480,8282*	4747,7506**	73,3714**	4,5111 ns	6806,8208**	0,3402*	104,4116**	375,0183**	32,2708*
Interação Doses x Dcalc.	8	1992,7416 ns	0,8198 ns	514,1673 ns	168,9940 ns	4,7363 ns	1,9201 ns	1258,5992 ns	0,1398 ns	21,1186 ns	114,8798*	12,7658 ns
Blocos	3	2612,3712 ns	2,1812*	1163,5482*	258,5828*	10,2826*	4,2471 ns	1873,2520 ns	0,3066*	58,1755*	159,7361*	7,7247 ns
Resíduo	42	1138,4682	0,6037	372,8896	90,5823	3,1357	1,5600	688,3376	0,0906	16,1106	45,9301	9,5030
Total	59											
CV (%)		30,87	35,86	30,74	39,51	34,46	37,54	29,13	31,70	35,38	34,24	71,25

\*, \*\* e ns significativo a 5%, 1% e não significativo pelo Teste de F, respectivamente.

**TABELA 2E.** Resumo das análises de variância ( quadrado médio e significância) do conteúdo de nutrientes, na matéria seca da parte aérea ( caule + folha) de mudas de caféiro (*Coffea arabica* L.), no solo LV em função das doses de zinco aplicadas via solo e diferentes doses de calcário. UFLA, Lavras, MG; 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrado Médio										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Doses de Zinco (Doses)	4	11238,9902**	23,6573**	6342,7323**	1233,9158*	0,0912**	0,0251**	12,9233**	1,8334**	233,9634**	438,3726**	136,8812**
Doses de Calcário (Dcalc.)	2	26317,5335**	251,9745**	42863,5239**	83502,3774**	1,6302**	0,2303**	80,1329**	1,4338**	1107,7064**	3872,9798**	106,0259**
Interação Doses x Dcalc.	8	1126,6897 ns	1,3634 ns	328,9641 ns	1263,4467**	0,0300 ns	0,0012 ns	0,8174 ns	0,0309 ns	44,4108 ns	96,8336 ns	31,7575**
Blocos	3	204,6238 ns	0,9273 ns	78,2792 ns	54,2020 ns	0,0048 ns	0,0002 ns	0,9051 ns	0,0217 ns	5,4411 ns	8,2454 ns	1,6114 ns
Resíduo	42	2234,0314	2,9679	973,3040	400,8837	0,0200	0,0042	2,3033	0,2201	33,0746	49,9778	4,1298
Total	59	21,72	26,01	22,76	21,61	27,06	22,29	23,60	26,51	26,87	26,67	34,07
CV (%)												

\*, \*\* e ns significativo a 5%, 1% e não significativo pelo Teste de F, respectivamente.

TABELA 2F. Resumo das análises de variância (quadrado médio e significância) do conteúdo de nutrientes, na matéria seca da parte aérea (caule + folha) de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), no solo LR em função das doses de zinco aplicadas via solo e diferentes doses de calcário. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Causas de Variação	G.L.	Quadrado Médio										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
						X 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>
Doses de Zinco (Doses)	4	627,8157 ns	2,5750 ns	500,3363 ns	671,2600**	0,0200**	0,0042 ns	3,1620**	0,5711 ns	165,9212**	46,9010 ns	85,5598**
Doses de Calcário (Dcalc.)	2	65232,6910**	50,3992**	31968,1531**	31849,9620**	1,0888**	0,1482**	61,6973**	15,6952**	3106,8003**	3348,3407**	112,4120**
Interação Doses x Dcalc.	8	4003,8176**	3,5425**	1546,5132**	495,0309**	0,0376**	0,0062**	3,7817**	1,5722**	110,6866 ns	93,8414**	12,0684**
Blocos	3	1469,4904 ns	0,2598 ns	335,0908 ns	16,8223 ns	0,0028 ns	0,00002 ns	0,8145 ns	0,2409 ns	30,2294 ns	22,7554 ns	1,5520 ns
Resíduo	42	1116,9223	1,1073	413,4621	140,0845	0,0077	0,0020	0,7919	0,2809	59,8965	23,4783	1,5671
Total CV (%)	59	25,37	37,96	24,18	26,49	28,51	25,58	23,84	31,96	37,23	25,22	31,50

\*\* e ns significativo a 1% e não significativo pelo Teste de F, respectivamente.





