

ADRIENE WOODS PEDROSA

**TOLERÂNCIA DIFERENCIAL E EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL DE CAFÉ ARÁBICA EM RELAÇÃO À
DEFICIÊNCIA DE ZINCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

ADRIENE WOODS PEDROSA

**TOLERÂNCIA DIFERENCIAL E EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL DE CAFÉ ARÁBICA EM RELAÇÃO À
DEFICIÊNCIA DE ZINCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de agosto de 2008.

Prof. Cosme Damião Cruz
(Co-orientador)

Prof. Fábio Murilo DaMatta
(Co-orientador)

Dr. Antonio Alves Pereira

Dr. Bruno Galvêas Laviola

Prof^ª. Herminia Emília Prieto Martinez
Orientadora

"A vida tem sentido quando lutamos por aquilo que acreditamos"

Luiz Puntel

DEDICO.

A Deus e aos meus amados pais Dalvo e Maria pela vida.

Aos meus irmãos, Anderson Dalvo, em especial a Mari e Sonito pela dedicação e apoio.

Ao Adriano pelo amor, carinho e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre esteve presente me iluminando e abençoando.

Aos meus pais, Maria e Dalvo pelo esforço e dedicação, e principalmente pelo amor, carinho e ensinamentos constantes.

A Marinalva e Sonito pelo amor, auxílio, amparo e inspiração que tornaram possível esta conquista.

Aos meus irmãos Dalvo e Anderson, cunhadas Margareth e Luiza e sobrinhos Mariana, Sophia, Henrique, Heitor e Guilherme pelo afeto e momentos alegres que me fizeram relaxar.

A família Pereira, em especial ao meu namorado Adriano pelo amor, apoio e incentivo.

A família Vieira, em especial a Zenilda e José Maria pelo carinho, apoio e acolhida que foram constantes durante toda a caminhada.

Ao Prof^ª. Herminia Emilia Prieto Martinez, pela orientação, pelos valiosos conselhos, sabedoria transmitida e, principalmente, pela amizade e confiança.

Aos professores Cosme Damião Cruz e Fábio Murilo da Matta pelos grandes ensinamentos, idéias e críticas na execução do trabalho e, pela amizade.

Aos pesquisadores Antonio Alves Pereira e Bruno Galvêas Laviola pelas importantes contribuições a este trabalho e pela participação da banca de tese.

Ao Prof. José Geraldo Barbosa pela amizade e valiosos conselhos no início e durante todo o curso.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de aprimoramento e capacitação de meus conhecimentos.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia, pela recepção e eternos ensinamentos.

Aos colegas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, em especial a Yonara, Rosileyde, Bruno e André, pela colaboração e amizade.

A valiosa colaboração de todos que ajudaram na execução do trabalho, em especial a Junia, Ana Paula e Marialva.

Aos amigos dos laboratórios do Departamento de Fitotecnia, em especial a Domingos Sávio, Itamar, Geraldo e Ribeiro.

A todos funcionários do Departamento de Fitotecnia, em especial ao Vicente Madaleno, Mara e Rita.

Ao CNP&D Café pelo financiamento do projeto.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

ADRIENE WOODS PEDROSA, filha de Maria Woods Pedrosa e Dalvo Feliz Gomes Pedrosa, nasceu no dia 18 de outubro de 1974, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em março de 1996, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras, vindo a concluí-lo em julho de 2003.

Em 2004, participou do curso de paisagismo no INAP, e a partir de então trabalhou em projetos paisagísticos no município de Belo Horizonte.

Nos anos de 2005 a 2007 foi bolsista de Desenvolvimento Tecnológico do CNP&D Café junto à EMBRAPA Café.

Em janeiro de 2007, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia, setor de Nutrição Mineral da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em agosto de 2008.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO -----	ix
ABSTRACT -----	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL -----	1
CAPÍTULO 1 -----	5
TOLERÂNCIA DIFERENCIAL DE VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA À DEFICIÊNCIA DE ZINCO -----	
1. INTRODUÇÃO -----	5
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	13
4. CONCLUSÕES -----	32
CAPÍTULO 2 -----	33
CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE USO DE ZINCO EM VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA -----	
1. INTRODUÇÃO -----	33
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	40
4. CONCLUSÕES -----	50

CAPÍTULO 3 -----	51
MECANISMOS QUE ATUAM SOBRE A TOLERÂNCIA DIFERENCIAL DE VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA SOB DEFICIÊNCIA DE ZINCO -----	
1. INTRODUÇÃO -----	51
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	60
4. CONCLUSÕES -----	78
2. CONCLUSÕES GERAIS -----	79
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	80
4. APÊNDICES -----	88
APÊNDICE A FOTOS -----	89
APÊNDICE B CAPÍTULO 1 -----	93
APÊNDICE C CAPÍTULO 2 -----	98
APÊNDICE D CAPÍTULO 3 -----	99

RESUMO

PEDROSA, Adriene Woods, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2008. **Tolerância diferencial e eficiência nutricional de café arábica em relação à deficiência de zinco.** Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-orientadores: Cosme Damião Cruz e Fábio Murilo DaMatta.

O café é uma cultura exigente em micronutrientes, principalmente em zinco, e as variedades mais produtivas requerem uma maior disponibilidade de nutrientes. Neste trabalho, estudou-se a tolerância diferencial e a eficiência nutricional de variedades de café arábica à deficiência de zinco, através da influência do zinco no crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como sua influência sobre algumas características bioquímicas. Para isso, mudas de 11 variedades de *Coffea arabica* L. foram cultivadas em solução nutritiva, nas concentrações de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco, durante oito meses. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com o uso de solução de Clarck modificada, constituindo-se num fatorial 11 x 2 (onze variedades e duas concentrações de zinco), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Após o período experimental, as plantas foram divididas em folhas (apicais, recém-maduras e inferiores), caules e raízes para determinação da matéria seca, das concentrações de zinco total e ativo. As eficiências de absorção, de produção de biomassa, de produção de biomassa foliar e de utilização de zinco foram calculadas a partir dos conteúdos de zinco e da matéria seca

acumulada nas diferentes partes analisadas. O índice SPAD foi avaliado nas folhas apicais e recém-maduras. As concentrações de clorofila a, clorofila b, clorofila total, carotenos + xantofilas, compostos indólicos e a atividade da dismutase do superóxido foram analisadas no segundo par de folhas recém-maduras dos ramos plagiotrópicos. A concentração de zinco fornecida afetou a produção de matéria seca, o conteúdo de zinco e conseqüentemente a eficiência do cafeeiro em absorver e utilizar o zinco, bem como o índice SPAD e as concentrações de clorofila a, clorofila b, clorofila total, carotenos + xantofilas, compostos indólicos e a atividade da dismutase do superóxido. A deficiência de zinco comprometeu o desenvolvimento de todas as variedades estudadas. A produção de matéria seca nas folhas apicais foi a mais afetada pela concentração de zinco, proporcionando grande variabilidade de resposta entre as variedades estudadas. As variedades San Ramon e São Bernardo demonstraram ser as menos tolerantes ao baixo zinco, e apresentaram baixa eficiência de utilização de zinco, nas duas doses estudadas. As variedades IPR-102 e Rubi foram as mais tolerantes ao baixo Zn, no entanto, a variedade Rubi demonstrou-se sensível a dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn. As variedades Acaia Cerrado, Caturra Amarelo, Catucaí Vermelho, Paraíso, Topázio e Tupi são medianamente tolerantes ao baixo zinco. A variedade Oeiras apresentou-se como pouco tolerante a omissão de Zn, apesar da alta eficiência em absorver o elemento. A tolerância diferencial a deficiência de zinco foi principalmente influenciada pela diferente capacidade de absorção do elemento pelas raízes e pela translocações nos caules e raízes de cada variedade avaliada.

ABSTRACT

PEDROSA, Adriene Woods, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August; 2008. **Differential tolerance and nutritional efficiency of *Coffea arabica* L. due to Zinc deficiency.** Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Fábio Murilo DaMatta.

Coffee is a micronutrient demanding plant, especially of zinc. In this research, the Zn lack differential tolerance and the Zn nutritional efficiency of coffee varieties were verified as zinc deficiency is applied. Also, the zinc influences on plant grow and development, as well as its influence on some biochemical features, was studied. Thus, 11 *C. arabica* varieties were cultivated in nutritive solution as the treatments were 0,0 and 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of zinc, for eight months. The experiment was carried out in a greenhouse using the Clarck solution. The treatments were established in a factorial 11x2 (11 varieties and two treatments of zinc) scheme, in a completely randomized design, with three replications. After that, the plants were collected and separated by leaves (apical, newly mature and basal), stems and roots, to determine dry matter production and the concentration of total and active zinc. The absorption efficiency, foliar biomass production efficiency, biomass production efficiency, Zn utilization efficiency and zinc content were calculated from the data of zinc concentration and dry matter accumulated on the different parts of the plant. The SPAD index was measured on the apical and newly matured leaves. The concentration of chlorophyll a; b, and total,

carotenoids, indol compounds, and superoxide dismutase activity were analyzed from the second pair of newly mature leaves from the plagiotropic branches. The concentrations of zinc used affected the dry matter production, as well as the zinc plant concentration and consequently the plant efficiency on absorb and utilize zinc. SPAD index, the concentration of chlorophyll a, b and total, carotenoids, indolic compounds and superoxide dismutase activity also were affected by the Zn concentration of the nutritive solution. Zinc deficiency affected the development of all coffee varieties studied in this experiment. Dry matter production of the apical leaves was the most affected by zinc concentration leading the plants to a large variability of responses among the varieties studied. San Ramon and São Bernardo showed to be the most sensitive to the lack of zinc, and presented a low zinc utilization efficiency on the two Zn doses studied. IPR-102 and Rubi were the less sensitive to zinc lack. However, Rubi showed to be sensitive to the dose $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ of Zn. The other varieties studied such as Acaia Cerrado, Caturra Amarelo, Catucaí Vermelho, Paraíso, Topázio and Tupi presented intermediate response to the lack zinc. Oeiras variety showed to be sensitive to the lack of zinc, despite of its high efficiency to absorb the nutrient. The differential tolerance of zinc was mainly influenced by the different capacity of absorption and translocation of zinc of each variety studied.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, tendo esta participação histórica e decisiva na economia brasileira e no desenvolvimento socioeconômico do país. Na safra 2006/2007 a produção cafeeira foi de 42,5 milhões de sacas, correspondentes a 27% da produção mundial (Agrianual, 2008; Paula Jr *et al.*, 2007).

O Estado de Minas Gerais é responsável por aproximadamente 51% da produção nacional (média estimada para safra de 2007/2008), em consequência da maior área cultivada, aproximadamente 1,014 milhão de hectares. No entanto, grande parte das lavouras cafeeiras do Estado apresentam baixa produtividade, principalmente pela falta de informações sobre variedades mais aptas ao cultivo na região, e de informações sobre manejo nutricional da cultura (Agrianual, 2008; Oliveira & Alves, 2001).

Os cafezais brasileiros, são cultivados em diversos tipos de solos, em sua maioria, de baixa fertilidade natural ou desgastados, com predominância de: acidez elevada, altos teores de Al e Mn, baixos teores de matéria orgânica, baixo teor de fósforo disponível, baixos teores de Ca e K, baixa saturação de bases e, principalmente, baixa disponibilidade de micronutrientes. Solos férteis estão presentes em pequenas áreas, como em manchas de terra roxa em Rondônia, Paraná e São Paulo (Matiello *et al.*, 2005).

Os micronutrientes são elementos essenciais para o crescimento das plantas e se caracterizam por serem absorvidos em pequenas quantidades, da ordem de alguns miligramas por quilo de matéria seca da planta. Isso se deve ao fato de não participarem de estruturas da planta, mas da constituição de enzimas ou como seus ativadores (Fernandes, 2006).

A deficiência de zinco tem sido apresentada como uma das mais generalizadas e limitantes à cultura do cafeeiro, o que se deve principalmente à pobreza dos solos em zinco e à baixa capacidade do cafeeiro em absorver este elemento (Dantas, 1991; Dechen *et al.*, 1991).

No cafeeiro, o zinco é de suma importância nutricional, por interferir diretamente no crescimento e produção. A deficiência de zinco ocasiona o

surgimento de sintomas em folhas novas que ficam pequenas e deformadas, tornando-se quebradiças e com aspecto coriáceo. Os ramos apresentam um reduzido número de folhas e internódios, com surgimento de uma roseta de folhas pequenas na extremidade do ramo (Malavolta *et al.*, 1993). A formação de roseta é devida a redução do alongamento dos internódios, fazendo com que as folhas de vários internódios fiquem muito próximas umas das outras e no mesmo plano (Epstein, 1975). Em casos extremos de deficiência, pode ocorrer seca de ponteiros e superbrotamento, os frutos são menores e a produção reduzida.

Grande parte dos sintomas de deficiência de zinco está associada a distúrbios no metabolismo das auxinas, principalmente do ácido indolacético (AIA), fitormônio largamente associado ao crescimento das plantas, sendo o zinco necessário para síntese de triptofano, aminoácido precursor do AIA (Marschner, 1995). A deficiência de micronutrientes em uma cultura pode ocasionar desequilíbrios no metabolismo vegetal, tornando as plantas mais sensíveis a pragas e doenças, proporcionando desta forma elevação nos custos de produção. Na cultura do café, a falta de micronutrientes pode provocar redução no crescimento da planta e queda de até 30 % da produção (Malavolta, 1986).

O estado nutricional da planta interfere no acúmulo de Zn nas folhas. Em plantas deficientes em Zn, a mobilidade desse nutriente torna-se bem menor (Loneragan *et al.*, 1987), acumulando-se preferencialmente em folhas mais velhas, nessas condições não há acúmulo em tecidos jovens.

A eficiência nutricional ou de uso é resultante do produto entre as eficiências de aquisição e utilização e por sua vez, a eficiência de aquisição é composta pela eficiência de absorção e de enraizamento, enquanto a eficiência de utilização é formada pela eficiência de transporte e de produção de biomassa (Li *et al.*, 1991). Quanto maior for a eficiência de utilização de zinco maior a eficiência de uma variedade em converter Zn em matéria seca. A eficiência de utilização é o resultado da interação entre absorção, transporte, redistribuição e metabolismo em uma planta.

Com relação à resposta ao fornecimento de nutrientes as plantas podem ser agrupadas em quatro classes: eficiente e respondente (plantas com alta produtividade em baixos níveis de nutrientes e que respondem à adição de

fertilizantes); ineficiente e respondente (plantas com baixa produtividade em baixos níveis de nutrientes e com elevada resposta a adição de fertilizantes); eficiente não respondente (plantas com boa produtividade em baixos níveis de nutrientes, porém, não respondem à adição de fertilizantes); e ineficiente não respondente (plantas com baixa produtividade em baixos níveis de nutrientes e que não respondem à adição de fertilizantes) Blair (1993).

As variedades comerciais de café são muito aparentadas e semelhantes, devido à estreita base genética da principal espécie cultivada no Brasil, *Coffea arabica*, sendo esta a mais usada nos principais métodos de melhoramento e seleção, portanto, em muitos casos torna-se difícil à distinção fenotípica tanto por produtores como por pesquisadores. No entanto, essa distinção é fundamental de forma a orientar os produtores na escolha de variedades mais aptas à região de cultivo. Diversas variedades de café estão registradas no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A escolha da variedade a ser implantada deve levar em consideração as condições nutricionais de solo, a topografia, o clima e conseqüentemente o comportamento como um todo da variedade na região (Paula Jr *et al.*, 2007).

A constatação de diferenças no comportamento nutricional é de grande interesse econômico, pois permite alocar variedades menos exigentes em zinco para solos mais pobres em zinco ou indicar adubações mais intensas com esse mesmo nutriente, se a variedade menos eficiente nutricionalmente for escolhida para ser implantada. Tais procedimentos visam evitar problemas futuros que possam acarretar menores produtividades. A caracterização do material genético é de grande interesse prático, mas também é necessário o conhecimento dos mecanismos que controlam as diferenças entre variedades, pois a eficiência de aproveitamento de um nutriente é amplamente afetada por inúmeros fatores.

Com a crescente expansão da cafeicultura para solos de baixa fertilidade exige-se cada vez mais um completo entendimento da dinâmica dos nutrientes tanto no solo como na planta, de forma a se evitar problemas nutricionais futuros, como a deficiência (Reis Jr & Martinez, 2002). Condições adequadas de cultivo diminuem o risco da cultura, facilitando e minimizando as operações de manejo, auxiliando na obtenção de colheitas

maiores e com melhores qualidades, e conseqüentemente com menores custos de produção (Matiello *et al.*, 2005).

Devido ao fato do café ser uma cultura com grande demanda em micronutrientes, principalmente em zinco, e esta deficiência ser comum nos solos brasileiros, comprometendo, portanto, a produtividade, por interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas, e diante do exposto, procurou-se identificar a tolerância diferencial e a eficiência nutricional de variedades de café arábica, bem como os mecanismos que influenciam a tolerância, em relação à deficiência de zinco, na fase de muda.

CAPÍTULO 1

TOLERÂNCIA DIFERENCIAL DE VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA À DEFICIÊNCIA DE ZINCO

1. INTRODUÇÃO

A deficiência de zinco pode comprometer a produtividade de uma cultura por interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas (Epstein, 1975). Segundo Fageria *et al.* (2002) a carência de zinco é limitante à produção agrícola mundial, e cerca de 50% dos solos usados no cultivo de cereais em todo o mundo possuem baixa disponibilidade de zinco, o que reduz a produção e a qualidade nutricional dos grãos.

Segundo Gallo *et al.* (1970) e Garcia *et al.* (1983), a maioria das lavouras cafeeiras do estado de São Paulo e Sul de Minas Gerais, apresenta deficiência de zinco. Na região de Viçosa, 57% das lavouras de média e baixa produtividade apresentaram deficiência desse elemento (Martinez *et al.*, 2004).

Os nutrientes minerais possuem funções essenciais e específicas no metabolismo das plantas. Desta forma, quando um dos nutrientes essenciais não está presente em quantidade satisfatória ou está em condições que o tornam pouco disponível, a deficiência desse nutriente nas células promoverá sérias alterações no metabolismo. Esses distúrbios geralmente se revelam via sintomas visíveis de clorose, necrose, crescimento reduzido ou outras anomalias. Os sintomas de deficiências minerais são mais ou menos característicos para cada nutriente, dependendo também da severidade da deficiência, da espécie, variedade e de fatores ambientais (Marschner, 1995).

Nas plantas, o zinco é absorvido na forma Zn^{2+} , e suas funções relacionam-se às propriedades de cátion bivalente, com forte tendência a formar complexos tetraédricos. O zinco age como componente metálico de

enzimas ou como co-fator de inúmeras delas. A exemplo, a desidrogenase alcoólica, dismutase do superóxido, anidrase carbônica e RNA-polimerase são enzimas que contêm Zn. O zinco possui também função de ativador enzimático por participar do metabolismo de carboidratos, de proteínas, de triptofano e do ácido indol-acético (Marschner, 1995; Martinez, 2005).

O estado nutricional da planta interfere no acúmulo de Zn nas folhas. Em plantas deficientes em Zn, a mobilidade desse nutriente torna-se menor nos tecidos mais jovens (Loneragan *et al.*, 1987). Quando nutrida adequadamente, preferencialmente o zinco se acumula mais em tecidos jovens das plantas por representarem regiões metabolicamente mais ativas, com grande demanda nutricional. Num estudo sobre a translocação e a compartimentalização de Zn, aplicado via foliar no feijoeiro e no cafeeiro, observou-se que o estado nutricional da planta apresenta efeito significativo na aquisição e translocação de zinco pelo feijoeiro, o que não foi observado no cafeeiro (Franco *et al.*, 2005).

Silva (1979) verificou, em cafeeiros, uma mobilidade parcial do zinco dentro da folha, observando seu transporte na forma Zn^{2+} ligado ao citrato. Segundo Malavolta (1980), há indicação de que o cafeeiro é pouco eficiente em absorver e translocar zinco.

A produção de matéria seca é utilizada para indicar a taxa de crescimento da planta. Por sua vez, o conhecimento dos padrões de acúmulo de matéria seca de uma cultura possibilita melhor entendimento dos fatores relacionados com a nutrição mineral, visto que a absorção de nutrientes é influenciada pela taxa de crescimento da planta (Glass, 1989; Marschner, 1995).

A deficiência de zinco pode proporcionar prejuízos tanto na manutenção enzimática como na enzima sintetase do triptofano ocasionando a diminuição do volume celular e menor crescimento apical, devido à redução da síntese ou a própria degradação de auxinas como AIA (Epstein & Bloom, 2006).

Segundo Malavolta (2006), a deficiência de zinco provoca um desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução do nitrato, promovendo uma diminuição no nível de RNA, o que resulta em menor síntese de proteínas, dificultando a divisão celular, fato este explicado pela inibição da RNAase (desidrogenase

de RNA) pelo zinco, e este ainda fazer parte da RNA polimerase, que sintetiza RNA. Portanto, o zinco tem importante participação no metabolismo energético da planta, incluindo a produção de matéria seca (Motta *et al.*, 2007).

Segundo Martinez *et al.* (2005), a matéria seca das folhas, caules e raízes do cafeeiro, em solução nutritiva com diferentes doses de Zn, manteve-se constante, independentemente do aumento das doses de Zn. Possivelmente, o crescimento da planta não foi afetado devido à reserva de Zn contida na semente. Observou-se também que a quantidade média de matéria seca da raiz das plantas que se desenvolveram na solução sem zinco foi ligeiramente maior que das raízes que se desenvolveram nas doses de 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, possivelmente devido ao efeito tóxico dessas doses. Aqueles mesmos autores ainda observaram mínima mobilidade no floema do cafeeiro, e concluíram que o caule do cafeeiro se apresenta como local de armazenamento de zinco, mesmo que temporário, e não somente local de transporte do nutriente.

Guimarães *et al.* (1983) e Amaral *et al.* (1997) estudando a influência da aplicação de zinco na produção do cafeeiro, observaram incrementos consideráveis na produção quando se aplicou o zinco tanto via foliar como via solo, demonstrando que o zinco influencia na produção do cafeeiro. A concentração de zinco nas plantas varia de 15 a 150 mg kg^{-1} de matéria seca (Motta *et al.*, 2007). Pavan *et al.* (1986) estudaram diversos nutrientes e sua relação com a produção do cafeeiro, e para o zinco, a maior produção esteve associada ao teor foliar de 13 $\mu\text{g g}^{-1}$ de zinco.

As variedades podem ser agrupadas em eficientes e ineficientes considerando-se a capacidade em converter nutrientes em matéria seca (Vose, 1987). Há diferenças entre variedades em relação aos fatores que afetam a eficiência nutricional das plantas (Marschner, 1995). A maior eficiência das variedades, em termos de absorção de nutrientes do solo, pode ser atribuída a fatores relacionados à função e estrutura radicular, incluindo características morfológicas, bem como mecanismos bioquímicos responsáveis pela transferência de íons nas membranas nas células radiculares (Ahmad *et al.*, 2001).

Inúmeras variedades diferem muito em suas respostas à disponibilidade de nutrientes no solo (Martinez *et al.*, 1993; Fageria, 1998); devido às exigências nutricionais diferenciadas, na capacidade de absorção, de translocação e de utilização dos nutrientes (Sands & Mulligan 1990). Como a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes apresentam controle genético, há a possibilidade de selecionar variedades mais eficientes quanto à utilização de nutrientes, como o zinco (Galbeman & Gerloff, 1983).

Ao estudarem os efeitos de doses de zinco via solo em três variedades de cafeeiro, Souza *et al.* (2001) constataram diferenças entre as variedades estudadas quanto a disponibilidade de zinco no solo, indicando variação na resposta das plantas às doses de zinco aplicadas. A variedade Catuaí apresentou alta capacidade de utilizar o zinco quando esse nutriente se encontra em baixas concentrações no solo, considerando-se a produção de matéria seca.

Segundo Rengel *et al.* (1998), em solos com baixa disponibilidade de zinco, os genótipos tolerantes à deficiência de zinco se desenvolvem melhor que os sensíveis, mas os mecanismos fisiológicos responsáveis pelas diferentes capacidades de tolerância não são completamente entendidos. Portanto, a constatação de diferenças no comportamento nutricional é de grande interesse econômico, por permitir alocar variedades menos exigentes para solos mais pobres em zinco ou indicar adubações mais intensas com esse nutriente, se a variedade menos eficiente nutricionalmente for escolhida, evitando-se desta forma problemas futuros, que possam acarretar reduções na produtividade.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi identificar a tolerância diferencial de variedades de café *arábica* à deficiência de zinco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período de fevereiro a outubro de 2007. A casa de vegetação usada corresponde ao modelo capela, com teto de vidro, possuindo também cobertura móvel de sombrite, para evitar a radiação solar excessiva.

As variedades de café empregadas são relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1. Relação das variedades de *Coffea arabica* L. avaliadas.

IDENTIFICAÇÃO	VARIÉDADES
1	Acaiá Cerrado MG-1474
2	Caturra Amarelo IAC-476
3	Catucaí Vermelho 785-15
4	IPR-102
5	Oeiras MG-6851
6	Paraíso MGH-419-1
7	Rubi MG-1192
8	San Ramon
9	São Bernardo
10	Topázio MG-1190
11	Tupi IAC 1669-33

O experimento constituiu-se de um esquema fatorial 11 x 2 (onze variedades e duas concentrações de zinco), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, sendo, as onze variedades de *Coffea arabica* L. alocadas ao acaso nas bancadas de crescimento.

As sementes dessas variedades foram germinadas em areia lavada e desinfetada, irrigadas com água desionizada e transplantadas no estádio de folhas cotiledonares para bandejas contendo solução nutritiva de Clark a ¼ de força, onde permaneceram para adaptação até o transplântio para os vasos de oito litros, nos quais receberam solução de Clark modificada com a seguinte composição: N-NO₃⁻ 12,52 mmol L⁻¹; N-NH₄⁺ 0,90 mmol L⁻¹; P-

H_2PO_4^- 0,069 mmol L⁻¹; K^+ 1,80 mmol L⁻¹; Ca^{++} 2,629 mmol L⁻¹; Mg^{++} 1,20 mmol L⁻¹; S-SO_4^{--} 2,60 mmol L⁻¹; B 19,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Cu 0,50 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Mn 7,00 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Mo 0,086 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Fe 40 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Martinez, 2002), sendo o zinco fornecido nas concentrações de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, considerados tratamento 1 e tratamento 2, respectivamente.

As soluções-estoque de cloreto férrico e de macronutrientes foram purificadas, de modo a se evitar possíveis contaminações por resíduos.

Para purificação da solução de cloreto de ferro realizou-se o seguinte procedimento: primeiramente diluiu-se 1,45 g de FeCl_3 em 50 mL de HCl 0,5 N, passando-se essa solução por uma coluna, montada em uma bureta de 50 mL contendo resina trocadora Dowex 1X-8 de 50 mesh, específica para o zinco, saturando-a com Fe^{3+} e H^+ . Em seguida, diluíram-se 5,4 g de FeCl_3 em 50 mL de HCl 0,5 N que foram passados pela coluna saturada, coletando-se o filtrado e completando-se o volume para 200 mL com água desionizada. Preparou-se uma solução contendo 7,44 g de Na_2EDTA diluído em 200 mL de água desionizada, juntaram-se as duas soluções e completou-se o volume para 500 mL com água desionizada. A solução foi, então, acondicionada em vidro âmbar envolvido com papel alumínio, para se evitar a incidência de luz (Fontes, 1986; Martinez, 2002).

As soluções de macronutrientes foram normalmente preparadas nas concentrações de 2 mol L⁻¹ e o pH corrigido para 4,5. Cada solução foi então transferida para funil decantador onde se adicionaram 10 mg de amonopirrolidinaditiocarbamato, diluído previamente em 50 mL de clorofórmio. A mistura foi agitada por aproximadamente 15 minutos, e em seguida deixada em repouso até que as fases se separassem, descartando-se, então, o clorofórmio. A operação foi repetida e o resíduo de clorofórmio da solução-estoque purificada eliminado por meio de aquecimento. As soluções foram acondicionadas em vidro âmbar (Fontes, 1986; Martinez, 2002).

Cada parcela foi formada por um vaso de oito litros de solução com duas plantas. A solução foi mantida sob aeração constante com ar comprimido, o pH ajustado semanalmente a $5,0 \pm 0,5$ e a troca da solução nutritiva realizada mediante o critério de 30% de depleção do valor inicial da condutividade elétrica. Foram realizadas quatro trocas, sendo que, a partir

da primeira troca, acrescentaram-se 8,0 mL de Fe-EDTA por vaso, devido ao surgimento de sintomas de deficiência de ferro nas plantas.

Ao final do experimento, foram realizadas as avaliações de: diâmetro do caule (DC); altura de planta (ALT); número de ramos plagiotrópicos (NRP); volume de raiz (VR); número de folhas (NF): apicais (NFA), recém-maduras (NFRM), inferiores, (NFI), e total (NFT); área foliar das folhas: apicais (AFFA), recém-maduras (AFFRM), inferiores (AFFI) e total (AFT).

O diâmetro do caule (DC) foi medido a dois cm da base do ramo ortotrópico com o auxílio de um paquímetro. A altura de planta (ALT) medida da base do ramo ortotrópico até o ápice da planta. A determinação da área foliar foi realizada com medidor de área foliar modelo LiCor 3100 (LiCor, Nebraska, EUA).

O volume das raízes (VR) foi medido em bureta de 100 mL, onde foi colocada a raiz de cada planta e o volume completado até 100 mL com água desionizada, em seguida retirou-se a raiz e a diferença do volume inicial com o volume final considerado o volume da raiz.

O material vegetal foi lavado em água desionizada e seco em estufa com circulação forçada de ar, a aproximadamente 70°C, por 72 horas; após esses procedimentos foram obtidos matéria seca (MS) das folhas: apicais (MSFA), recém-maduras (MSFRM), inferiores (MSFI), caules (MSC), raízes (MSR) e total (MST), obtido pelo somatório da matéria seca de todas as partes avaliadas.

Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Sobre todos os dados realizou-se o cálculo da produção relativa, do tratamento 1 em relação ao tratamento 2, com intuito de se eliminar a influência de características específicas de cada espécie, como porte, tamanho de folha entre outras. Os valores acima de 100% são incrementos e valores abaixo de 100% reduções.

Fórmula: $PR = \{(T1 \times 100) / MT2\}$

Em que: PR = produção relativa

T1 = Tratamento com $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco

MT2 = Média da variedade no tratamento com $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn.

Os dados transformados em produção relativa foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Foi realizado também o desdobramento das interações independentemente da significância, utilizando-se o método multivariado com base nas variáveis canônicas para identificação e agrupamento das variedades mais tolerantes a deficiência de zinco. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (Cruz, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observados sintomas severos de deficiência nutricional de zinco no final do período experimental. Também foram observadas diferenças significativas entre as variedades estudadas e em relação ao suprimento de zinco (omissão ou fornecimento), evidenciadas pelas características de crescimento analisadas.

Não foram observadas diferenças significativas para MSFRM, MSR e MST entre tratamentos.

Para produção de MST, as maiores médias nas doses 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco foram verificadas para a variedade IPR-102, sendo de 23,28 g e 27,66 g, respectivamente. Este resultado deveu-se as maiores médias nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco nas produções de MSFA (1,95 e 2,91 g) e MSFRM (8,86 e 10,07 g). Essa variedade apresentou também as maiores médias na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco para as produções de MSC (5,91 g) e MSR (5,41 g) (Quadros 2 e 3).

As menores médias de produção de MST nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco foram apresentadas pela variedade San Ramon, 9,11 g e 10,56 g, respectivamente (Quadros 2 e 3), bem como as menores médias nas produções de MSFA (0,65 g e 1,33 g), MSFRM (2,93 g e 3,42 g), MSFI (1,50 g e 1,94 g) e MSC (1,15 g e 1,48 g).

A variedade Rubi apresentou média de produção de MST na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco de 21,29 g e de 15,74 g para dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco. Tal fato indica que talvez a dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco tenha sido excessiva para essa variedade, limitando dessa forma seu crescimento, e seu maior desenvolvimento na dose 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ evidencia sua adaptação a baixas doses de zinco no meio de cultivo (Quadro 3). A Rubi também apresentou maiores produções de MSFI (3,08 g) e de MSC (6,46 g) na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.

Zabini (2004), estudando a tolerância diferencial de progênies de cafeeiros a deficiência de zinco em duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$), verificou que na maior dose a MSPA das progênies UFV 4066-5, Caturra Amarelo 4 e Tupi IAC 4376-5 foi menor, e a MST foi menor apenas para a progênie UFV 4066-5 evidenciando a maior sensibilidade desta progênie à

Quadro 2 - Média da produção de matéria seca nas folhas apicais (MSFA), folhas recém-maduras (MSFRM) e folhas inferiores (MSFI) de onze variedades de cafeeiro em resposta a duas concentrações de zinco em solução nutritiva.

VARIEDADES	MATÉRIA SECA (g)																	
	MSFA				MSFRM				MSFI									
	0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0							
	$\mu\text{mol L}^{-1}$																	
Acaia Cerrado	1,61	A	ab	1,85	A	bcd	6,03	A	abc	5,75	A	bc	2,51	A	ab	2,97	A	abcd
Caturra Amarelo	1,07	B	bc	2,24	A	abc	6,20	A	abc	8,02	A	ab	2,76	A	a	3,18	A	ab
Catucaí Vermelho	1,29	B	abc	2,32	A	abc	6,94	A	ab	6,00	A	bc	2,89	A	a	2,49	A	abcd
IPR-102	1,95	B	a	2,91	A	a	8,86	A	a	10,07	A	a	2,16	B	ab	3,36	A	a
Oeiras	1,38	A	abc	1,91	A	bcd	5,31	A	bcd	5,67	A	bc	2,40	A	ab	2,68	A	abcd
Paraíso	0,76	B	bc	1,89	A	bcd	4,14	A	bcd	5,34	A	bc	2,06	B	ab	3,02	A	abc
Rubi	1,31	A	abc	1,74	A	bcd	5,52	A	bcd	6,09	A	bc	3,08	A	a	2,27	A	bcd
San Ramon	0,65	A	c	1,33	A	d	2,93	A	d	3,42	A	c	1,50	A	b	1,94	A	d
São Bernardo	0,90	A	bc	1,51	A	cd	3,51	A	cd	5,19	A	bc	2,23	A	ab	2,03	A	cd
Topázio	1,38	B	abc	2,16	A	abcd	5,15	A	bcd	7,25	A	ab	2,61	A	a	2,69	A	abcd
Tupi	1,41	B	abc	2,51	A	ab	6,41	A	abc	7,79	A	ab	2,84	A	a	3,42	A	a
Média	1,25		2,03		5,58		6,42		2,46		2,73							
CV (%)	26,73				25,01				20,97									

As médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

Quadro 3 - Média da produção de matéria seca nos caules (MSC), nas raízes (MSR) e total (MST) de onze variedades de cafeeiro em resposta às duas concentrações de zinco em solução nutritiva.

VARIEDADES	MATÉRIA SECA (g)													
	MSC				MSR				MST					
	0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0			
$\mu\text{mol L}^{-1}$														
Acaia Cerrado	5,05	A abc	5,44	A ab	3,70	A a	3,22	A ab	18,89	A ab	19,25	A bc		
Caturra Amarelo	4,02	A abcd	4,84	A ab	5,52	A a	4,42	A ab	18,58	A ab	22,69	A ab		
Catucaí Vermelho	2,40	A bcd	4,53	A abc	2,17	A a	3,47	A ab	18,71	A ab	18,80	A bc		
IPR-102	5,69	A ab	5,91	A a	4,62	A a	5,41	A a	23,28	A a	27,66	A a		
Oeiras	3,31	A abcd	3,63	A abc	3,68	A a	3,27	A ab	16,08	A abc	17,13	A bcd		
Paraíso	2,36	A cd	3,44	A abc	4,01	A a	4,60	A ab	13,33	A bc	18,29	A bcd		
Rubi	6,46	A a	2,49	B bc	4,87	A a	3,15	A ab	21,29	A a	15,74	A bcd		
San Ramon	1,15	A d	1,48	A c	2,88	A a	2,38	A b	9,11	A c	10,56	A d		
São Bernardo	1,99	A cd	2,51	A bc	3,15	A a	2,81	A b	11,79	A bc	14,05	A cd		
Topázio	3,23	A abcd	4,34	A abc	3,81	A a	3,48	A ab	16,49	A abc	19,92	A abc		
Tupi	3,61	A abcd	4,25	A abc	3,41	A a	3,76	A ab	17,56	A ab	21,73	A abc		
Média	3,57		3,89		3,98		3,63		16,85		18,71			
CV (%)	45,71				32,33				22,53					

As médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

concentração de zinco aplicada, e um comportamento satisfatório desta quando em baixo suprimento de zinco. Tais resultados indicam que há diversidade de comportamento de diferentes materiais genéticos em relação ao suprimento de zinco, podendo estes serem identificados como menos exigentes, medianamente exigentes e mais exigentes.

Alta disponibilidade de zinco pode causar efeitos de toxidez em plantas não tolerantes, e os sintomas são diminuição do sistema radicular e do tamanho das folhas, e conseqüentemente diminuição na produção de matéria seca na planta (Adriano *et al.*, 1971). Na literatura, uma das causas para a redução da produção de matéria seca, em plantas com excesso de Zn, é o acúmulo, no xilema, de tampões (“plugs”) contendo o elemento, os quais dificultam a ascensão da seiva (Malavolta *et al.*, 1997). Possivelmente, tal fato explicaria por que a variedade Rubi apresentou menor produção de matéria seca, quando cultivada na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, comprovando a toxidez desta dose para esta variedade.

Segundo Foy *et al.* (1978) elevadas concentrações de zinco promovem a redução do transporte de ferro para parte aérea. O Zn e Mn, juntamente com o Fe fazem parte da síntese de clorofila, conseqüentemente sua falta pode levar a redução do crescimento e desenvolvimento da planta.

Na produção de matéria seca observam-se diferenças entre tratamentos, que podem ser resultantes das diferentes doses de zinco utilizadas, mas também de possíveis interações entre outros nutrientes e o zinco (Quadros 2 e 3) . A interação entre nutrientes foi comprovada por Lima Filho & Malavolta (1998) que ao estudarem a produção de matéria seca em mudas de variedades de cafeeiro observaram que a adição de zinco e boro proporcionou incremento de 21% na matéria seca total das mudas.

Avaliando-se a área foliar, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para AFFRM, mas as variáveis AFFA e AFFI apresentaram diferenças significativas entre tratamentos (Quadro 4).

Quando se forneceu $0,0$ e $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco, à variedade San Ramon foi a que apresentou as menores médias de AFFA ($66,84$ e $198,75 \text{ cm}^2$), AFFRM ($366,99$ e $422,30 \text{ cm}^2$), AFFI ($210,60$ e $308,2 \text{ cm}^2$) e AFT ($644,43$ e $929,34 \text{ cm}^2$). Em todas as partes avaliadas observou-se considerável redução da área foliar quando a variedade foi cultivada na dose de $0,0 \mu\text{mol}$

L⁻¹ de zinco (Quadro 4). Comportamento contraditório foi observado para variedade IPR-102 para variável AFFRM. No entanto, entre as variedades estudadas, esta foi a que apresentou as maiores médias de AFFA (248,57 e 459,08 cm²), de AFFRM (1129,23 e 1094,15 cm²) e AFT (1668,22 e 2082,87 cm²), quando cultivada nas doses de 0,0 e 6,0 µmol L⁻¹ de Zn.

Quando cultivada na dose de 0,0 µmol L⁻¹ de zinco a variedade Rubi apresentou aumentos consideráveis na produção de AFFRM (816,47 cm²) e de AFFI (403,12 cm²). Tais resultados demonstram que possivelmente a dose de 6,0 µmol L⁻¹ de zinco tenha sido excessiva para o cultivo dessa variedade (Quadro 4).

Não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos quando se avaliou o NFA e o NFT (Quadro 5). Avaliando-se a produção média do número de folhas na dose de 0,0 e 6,0 µmol L⁻¹ de zinco, observa-se, no Quadro 5, que a variedade San Ramon foi a que apresentou as menores médias de NFA (10,33 e 13,83), de NFRM (5,67 e 7,00) e de NFT (24,33 e 30,50). Tais fatos confirmam os resultados observados na produção de matéria seca e na medição de área foliar.

Para o cultivo na dose de 0,0 µmol L⁻¹ de zinco a variedade IPR-102 apresentou as maiores médias de NFA (19,67), NFRM (27,00) e NFT (55,50). Esse resultados, quando comparados com as produções foliares na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de zinco, demonstram um aumento do número de folhas no cultivo na dose de 0,0 µmol L⁻¹ de zinco, evidenciando possível sensibilidade dessa variedade a dose de 6,0 µmol L⁻¹ de zinco (Quadro 5).

A variedade Rubi MG 1192 demonstrou ser mais eficiente no uso do zinco na produção de folhas do que as variedades Catuaí Vermelho IAC-99, Icatu Amarelo IAC-3282 e Acaiá IAC 474-19 quando cultivada em baixo nível de adubação, e não foram constatadas diferenças significativas entre variedades no nível e alto de adubação, 5,6 g L⁻¹ de ZnSO₄ (Amaral, 2002). Assim como este autor, neste trabalho também se observou um bom crescimento da variedade Rubi, quando cultivada em baixo nível de zinco em solução nutritiva.

Reis Jr. & Martinez (2002) constataram diferenças significativas no número de folhas e ramos entre os cafeeiros Catuaí e Conilon sob a mesma dose de zinco, com as maiores médias para a variedade Catuaí, e atribuíram

Quadro 4 – Médias das áreas foliares das folhas apicais (AFFA), folhas recém-maduras (AFFRM), folhas inferiores (AFFI) e total (AFT) onze variedades de cafeeiro em resposta às duas concentrações de zinco em solução nutritiva.

VAR.*	ÁREA FOLIAR (cm ²)																					
	AFFA				AFFRM				AFFI				AFT									
	0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0							
$\mu\text{mol L}^{-1}$																						
1	175,85	B abc	317,40	A abcd	872,66	A abc	769,53	A ab	350,93	B a	476,48	A ab	1399,44	A ab	1563,41	A abc						
2	132,58	B abc	383,93	A ab	834,87	A abc	1086,38	A a	365,26	B a	507,39	A a	1332,71	B ab	1977,69	A ab						
3	195,10	B abc	323,64	A abcd	969,05	A ab	1018,60	A a	377,59	A a	346,96	A bcd	1541,75	A ab	1689,20	A abc						
4	248,57	B a	459,08	A a	1129,23	A a	1094,15	A a	290,42	B ab	529,64	A a	1668,22	A a	2082,87	A a						
5	224,48	A ab	300,28	A bcd	719,84	A abc	702,55	A ab	308,92	B ab	429,14	A abcd	1253,24	A abc	1431,97	A bcd						
6	103,95	B abc	310,77	A bcd	518,07	A bc	623,58	A ab	291,79	B ab	462,72	A abc	913,81	A bc	1397,07	A bcd						
7	210,47	A abc	296,90	A bcd	816,47	A abc	795,89	A ab	403,12	A a	360,49	A bcd	1430,06	A ab	1453,28	A abcd						
8	66,84	B c	198,75	A d	366,99	A c	422,30	A b	210,60	A b	308,29	A d	644,43	A c	929,34	A d						
9	98,51	B bc	222,96	A cd	536,25	A bc	664,44	A ab	296,60	A ab	337,52	A cd	931,36	A bc	1224,91	A cd						
10	177,16	B abc	360,32	A abc	761,31	A abc	949,35	A a	378,99	A a	425,13	A abcd	1317,46	A ab	1734,80	A abc						
11	143,42	B abc	361,06	A abc	696,79	A abc	959,98	A a	364,07	B a	500,53	A a	1204,28	B abc	1821,57	A abc						
Média	161,54		321,37		747,41		826,07		330,76		425,85		1239,70		1573,28							
CV (%)	30,82				34,04				18,71				23,05									

* Variedades: 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio, 11 Tupi. As médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

esses resultados às diferenças existentes entre as duas espécies do gênero *Coffea*.

Avaliando-se o DC, observa-se que a variedade San Ramon apresentou as menores médias quando cultivada nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco, 4,40 e 4,84 mm, respectivamente. Nessas mesmas condições essa variedade também apresentou as menores médias de ALT, (19,82 e 22,28 cm) e de NRP (2,17 e 4,33), resultados esses apresentados no Quadro 6.

A variedade Rubi quando cultivada na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco apresentou consideráveis aumentos no DC (6,49 mm), na ALT (31,70 cm) e no VR (61,67 cm^3) quando comparada com seu cultivo na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco (Quadro 6). Este resultado mais uma vez evidencia a possível sensibilidade dessa variedade a dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco, mas também demonstra sua maior tolerância a baixas doses do elemento.

Ao se avaliar o desenvolvimento das plantas nas duas doses de zinco, não foram observadas diferenças significativas para DC para ALT e para VR. No entanto, observa-se redução no diâmetro médio do caule na maioria das variedades estudadas (Quadro 6). Tal fato também foi verificado por Zabini (2004) que observou que a restrição no fornecimento de zinco reduziu o diâmetro do caule para as progênies Caturra Amarelo 3, UFV 4066-3 e Caturra Vermelho 2, e incrementou essa variável nas progênies Tupi IAC 4376-5 e Caturra Vermelho 3. Observou também redução na altura de planta nas progênies Caturra Amarelo 3 e UFV 40663.

Os resultados de produção de MS, AF, NF, DC, ALT, VR e NRP indicam também a diferenciação das variedades estudadas quanto à exigência e sensibilidade a doses elevadas de Zn, ocasionando efeito tóxico nas variedades IPR-102 e Rubi (Quadros 2, 3, 4, 5 e 6) .

Os sintomas de deficiência de Zn estão associados a distúrbios no metabolismo das auxinas, principalmente do ácido indolacético (AIA). A deficiência de zinco provoca um desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução do nitrato, inibindo a RNAase (RNA desidrogenase), resultando em menor síntese de proteínas, o que dificulta a divisão celular, proporcionando menor tamanho de células reduzindo o comprimento dos internódios (Malavolta, 2006). Normalmente há uma relação inversa entre o fornecimento de Zn e a atividade da RNAase, e entre sua atividade, o

Quadro 5 - Médias dos números de folhas apicais (NFA), folhas recém-maduras (NFRM), folhas inferiores (NFI) e total (NFT) de onze variedades de cafeeiros em resposta às duas doses de zinco.

VARIEDADES	NFA		NFRM		NFI		NFT									
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0								
	$\mu\text{mol L}^{-1}$															
Acaia Cerrado	18,83	A ab	16,83	A b	13,50	A bc	12,67	A abc	10,00	A abc	12,67	A ab	42,17	A abcd	42,17	A bc
Caturra Amarelo	13,50	A ab	34,00	A a	10,167	B cd	17,83	A a	11,33	A ab	14,83	A a	35,00	A bcde	66,50	A a
Catucaia Vermelho	18,33	A ab	19,00	A b	18,00	A b	13,00	A abc	13,00	A a	7,50	B c	49,33	A ab	39,50	A bc
IPR-102	19,67	A a	19,83	A b	27,00	A a	17,67	B a	8,833	A abc	10,83	A abc	55,50	A a	48,33	A b
Oeiras	12,33	A ab	14,17	A b	9,83	A cd	10,67	A bc	8,33	A bc	9,33	A c	30,50	A de	34,17	A bc
Paraíso	12,00	A ab	15,00	A b	9,17	A cd	12,00	A abc	13,00	A a	12,83	A b	34,17	A cde	39,83	A bc
Rubi	17,00	A ab	15,33	A b	15,33	A bc	11,17	A abc	10,50	A abc	12,17	A b	42,83	A abcd	38,67	A bc
San Ramon	10,33	A b	13,83	A b	5,67	A d	7,00	A c	8,33	A bc	9,67	A c	24,33	A e	30,50	A c
São Bernardo	14,83	A ab	15,33	A b	11,17	A bcd	11,83	A abc	7,00	A c	9,00	A c	33,00	A cde	36,17	A bc
Topázio	18,83	A ab	18,00	A b	15,33	A bc	16,00	A ab	11,17	A abc	11,50	A abc	45,33	A abc	45,50	A b
Tupi	19,16	A a	15,00	A b	12,00	A bcd	13,33	A abc	9,67	A abc	10,83	A abc	40,83	A abcd	39,17	A bc
Média	15,89		17,85		13,38		13,02		10,11		11,02		39,364		41,86	
CV (%)	26,92		26,92		26,97		20,31		18,61		18,61		18,61		18,61	

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Quadro 6 - Médias do diâmetro do caule (DC), altura de planta (ALT), volume de raiz (VR) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de onze variedades de cafeeiros em resposta às duas doses de zinco.

VARIETADES	DC (mm)			ALT (cm)			VR (cm ³)			NRP														
	0,0			6,0			0,0			6,0														
	$\mu\text{mol L}^{-1}$																							
Acaíá Cerrado	6,28	A	abc	6,09	A	abc	52,10	A	a	55,65	A	a	35,00	A	a	63,33	A	ab	6,00	A	ab	5,83	A	abc
Caturra Amarelo	6,12	A	abcd	6,33	A	abc	36,08	A	bc	40,16	A	b	75,00	A	a	75,00	A	ab	3,33	B	cd	7,17	A	a
Catucaí Vermelho	7,34	A	a	7,26	A	a	32,55	A	cd	31,92	A	cd	73,33	A	a	55,00	A	ab	6,17	A	ab	6,00	A	abc
IPR-102	6,83	A	ab	7,08	A	ab	41,83	A	b	39,07	A	bc	58,33	A	a	90,00	A	a	7,33	A	a	6,67	A	ab
Oeiras	6,97	A	ab	6,19	A	abc	34,30	A	bc	34,83	A	bcd	65,00	A	a	51,67	A	ab	3,50	A	cd	5,00	A	bc
Paraíso	5,44	A	bcd	6,01	A	abc	29,92	A	cd	32,63	A	bcd	63,33	A	a	70,00	A	ab	2,67	B	cd	5,00	A	bc
Rubi	6,49	A	abc	5,99	A	abc	31,70	A	cd	29,78	A	de	61,67	A	a	53,33	A	ab	4,17	A	bcd	4,83	A	bc
San Ramon	4,40	A	d	4,84	A	c	19,82	A	e	22,28	A	e	55,00	A	a	43,33	A	b	2,17	B	d	4,33	A	c
São Bernardo	4,93	A	cd	5,47	A	bc	25,72	A	de	27,58	A	de	50,00	A	a	45,00	A	b	4,50	A	bc	5,00	A	bc
Topázio	6,54	A	abc	7,09	A	ab	31,45	A	cd	33,45	A	bcd	63,33	A	a	56,67	A	ab	5,67	A	ab	5,83	A	abc
Tupi	6,21	A	abc	7,39	A	a	28,37	A	cd	31,55	A	cd	55,00	A	a	56,67	A	ab	4,67	A	bc	4,33	A	c
Média	6,14			6,34			33,08			34,54			61,36			60,00			4,56			5,45		
CV (%)	14,72			12,17			33,45			21,18														

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

conteúdo de proteínas e o crescimento da planta (Marschner, 1995). Provavelmente, devido a estes efeitos as variedades mais sensíveis à deficiência de zinco apresentaram maiores reduções na produção de matéria seca.

Observa-se nos Quadros de 2 a 6 a grande variabilidade entre as variedades estudadas para as variáveis de crescimento avaliadas. Devido ao grande número de variáveis estudadas, a interpretação dos resultados baseando-se somente na análise estatística simples torna-se restritiva, dificultando desta forma a discriminação do comportamento de determinada variedade e da definição da importância das características estudadas nessa distinção. Portanto, com o objetivo de identificar quais variedades de cafeeiro se desenvolveram melhor em relação à carência ou excesso de zinco, submeteu-se os dados à análise estatística multivariada.

Avaliando-se a produção relativa de matéria seca (MSR) observou-se que a omissão de zinco na solução nutritiva resultou em 114,71% MSRT para a variedade Rubi, ou seja, um incremento de 14,71%. Produções relativas maiores que 100% foram observadas para MSRFI de 144,25% (44,25% de incremento); MSRC de 138,95% (38,95% de incremento) e MSRR de 133,35% (33,35% de incremento), mas observaram-se, entretanto, nessas condições, produções relativas menores que 100% para MSRFA e na MSRFRM para esta mesma variedade. Estes resultados indicam que a concentração de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn em solução nutritiva talvez tenha sido excessiva para a variedade Rubi, nas primeiras fases de desenvolvimento, e que essa variedade possui maior tolerância a baixa concentração de zinco que as demais variedades (Quadro 7).

Souza *et al.* (2001) avaliando a resposta de três variedades de café a diferentes doses de zinco aplicadas via solo, em vasos, verificaram que nas maiores doses de zinco aplicadas (20 e 40 mg. dm^{-3}), houve decréscimo na produção de matéria seca em todas as variedades, indicando o efeito tóxico do Zn quando aplicado nessas doses. Assim como estes autores, verificou-se neste trabalho, possível efeito tóxico da dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn para a variedade Rubi.

A variedade Catucaí Vermelho teve comportamento semelhante à Rubi, porém, menos acentuado com 107,70% de produção relativa de MSRT

(+7,07%). A Catucaí Vermelho se diferenciou da Rubi por apresentar maior produção relativa na MSFRM 119,16% (+19,16%) e MSRR 149,11% (+49,11%), enquanto apresentou as menores produções relativas de MSRFA, MSRFI e MSRC com a omissão de Zn. Verifica-se que baixas concentrações de Zn, vindas de possíveis contaminações presentes na solução nutritiva, foram suficientes para um crescimento adequado destas variedades durante o período experimental de aproximadamente 9 meses (Quadro 7).

As folhas inferiores já estavam completamente expandidas quando a dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn começou a ser limitante, portanto, a matéria seca dessas folhas não foi afetada. As folhas apicais apresentaram redução no acúmulo de matéria seca com a dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn. Ou seja, só quando a planta cresceu e aumentou a demanda por zinco, é que os sintomas de deficiência começaram a ser perceptíveis.

Quando o zinco foi omitido, a variedade Paraíso foi a que apresentou menores produções relativas de MSRT (71,01%), devido as consideráveis reduções na matéria seca de todas as partes avaliadas, destacando-se caules 68,38% (-31,62%) e raízes 79,90% (-20,10%) onde essas produções relativas foram menores que as observadas para as demais variedades. Esta variedade também apresentou baixas produções relativas de MSRFA 40,22% (-59,79%), MSFRM 77,54% (-22,46%) e MSRFI 68,20% (-31,80%). Tais resultados evidenciam sua maior sensibilidade à escassez do elemento (Quadro 7).

Embora com reduções significativamente menores na MST que a Paraíso as variedades São Bernardo, Topázio e Tupi também apresentaram reduções consideráveis na MSRT com a omissão do elemento. Merece destaque a variedade São Bernardo, para a qual a omissão restringiu em 82,56% o acúmulo de MSFA e em 35,24% o acúmulo de MSFRM. As folhas apicais representam o crescimento novo e as recém-maduras podem ser consideradas as de maior atividade metabólica. Aquela variedade também apresentou MSRC da ordem de 83,02% (-16,98%), porém, contraditoriamente apresentou MSRFI de 105,16% (+5,16%) e MSRR de 107,53% (+7,53%), indicando que na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn as folhas inferiores as quais se desenvolveram no início do experimento encontraram

Quadro 7 - Médias das produções relativas (>100% incrementos ou <100% reduções) na matéria seca nas folhas apicais (MSRFA), folhas recém-maduras (MSRFRM), folhas inferiores (MSRFI), caules (MSRC), raízes (MSRR) e total (MSRT) nas onze variedades de cafeeiro estudadas.

VARIETADES	MATÉRIA SECA (%)											
	MSRFA		MSRFRM		MSRFI		MSRC		MSRR		MSRT	
Acaíá Cerrado	82,43	a	108,93	ab	84,55	def	91,42	bc	117,42	abcd	99,11	abc
Caturra Amarelo	47,92	abc	77,34	c	82,53	def	90,10	bcd	102,36	bcde	82,76	cd
Catucaí Vermelho	55,90	ab	119,16	a	121,73	ab	79,54	cd	149,11	a	107,70	ab
IPR-102	66,92	ab	87,96	bc	64,47	f	101,90	b	82,30	de	84,77	bcd
Oeiras	67,01	ab	81,86	bc	92,08	cde	81,97	bcd	106,51	bcde	86,48	bcd
Paraíso	40,22	bc	77,54	c	68,20	ef	68,38	d	79,90	e	71,01	d
Rubi	74,91	ab	95,41	abc	144,25	a	138,95	a	133,55	ab	114,71	a
San Ramon	48,69	abc	85,55	bc	80,96	def	77,74	cd	123,63	abc	87,56	bcd
São Bernardo	17,44	c	64,76	c	105,16	bcd	83,02	bcd	107,53	bcde	82,99	cd
Topázio	64,11	ab	70,65	c	110,80	bc	69,09	d	99,88	bcde	80,15	cd
Tupi	63,33	ab	75,82	c	79,95	def	79,51	cd	90,84	cde	78,35	cd
Média	57,17		86,18		94,06		87,42		108,46		88,69	
CV (%)	34,49		18,78		14,99		13,02		17,72		14,03	

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Zn suficiente para expansão e acúmulo. Tal fato pode ter ocorrido por que as baixas concentrações de zinco em solução devidas a possíveis contaminações foram suficientes para proporcionar crescimento adequado no período inicial do experimento em que as plantas eram pequenas até se tornarem insuficientes quando as plantas cresceram e sua demanda aumentou (Quadro 7).

Em relação à produção relativa de matéria seca as demais variedades apresentaram comportamentos semelhantes (Quadro 7).

Avaliando-se as áreas foliares relativas quando se omitiu o fornecimento de zinco, observa-se que para as variáveis AFRFA e AFRFRM as variedades não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto, pode-se destacar que a variedade Paraíso foi a que apresentou a menor AFRFA 33,45% (66,55% de redução) quando se omitiu o fornecimento de zinco, e para AFRFRM as variedades IPR-102 e Rubi as que apresentaram maiores áreas foliares relativas 103,21% e 102,59%, respectivamente (Quadro 8).

Quadro 8 - Médias das áreas foliares relativas (>100% incrementos ou <100% reduções) das folhas apicais (AFRFA), folhas recém-maduras (AFRFRM), folhas inferiores (AFRFI) e total (AFRT) nas onze variedades de cafeeiro estudadas.

VARIEDADES	ÁREA FOLIAR (%)			
	AFRFA	AFRFRM	AFRFI	AFRT
Acaíá Cerrado	55,40 a	113,40 a	73,65 bc	89,51 ab
Caturra Amarelo	34,53 a	76,85 a	71,99 bc	67,39 b
Catucaí Vermelho	60,28 a	95,14 a	108,83 a	91,27 ab
IPR-102	54,15 a	103,21 a	54,83 c	80,09 ab
Oeiras	74,76 a	102,46 a	71,98 bc	75,88 ab
Paraíso	33,45 a	83,08 a	63,06 bc	66,84 b
Rubi	70,89 a	102,59 a	111,83 a	100,69 a
San Ramon	33,63 a	86,90 a	68,31 bc	69,34 ab
São Bernardo	44,18 a	80,71 a	87,88 abc	76,03 ab
Topázio	49,17 a	80,19 a	89,15 ab	75,94 ab
Tupi	39,72 a	72,58 a	72,74 bc	66,11 b
Média	50,01	90,65	79,48	78,10
CV (%)	48,43	25,91	21,87	21,41

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Para AFRFI a variedade IPR-102 foi a que apresentou o menor valor 54,83%, o que corresponde a uma redução de 45,17%, e a variedade Rubi a maior AFRFI 111,83%, o que corresponde a 11,83 de incremento. A variedade Catucaí Vermelho também apresentou uma considerável AFRFI de 108,83%, correspondente a 8,83% de incremento. A variedade Rubi foi a única a apresentar área foliar relativa maior que 100% na AFRT, no valor de 100,69% o que corresponde a um incremento de 0,69%, no entanto só diferiu estatisticamente das variedades Tupi, Paraíso e Caturra Amarelo. As demais variedades apresentaram comportamentos semelhantes (Quadro 8).

Avaliando-se o número relativo de folhas produzidas (NRF), no Quadro 9, observa-se que a omissão de zinco fez com que houvesse um NRFT de 110,77% (+10,77%) para a variedade Rubi. Números relativos de folhas elevados também foram observados para NRFA 110,89% (+10,89%) e NRFM 137,27% (+37,37%), entretanto, observou-se menor NRFI 86,28%, o que corresponde a uma redução de 13,72%. Já a variedade IPR-102 apresentou NRFRM de 152,80% (+52,80%) e NRFT de 114,84% (+14,84%), no entanto, apresentou NRFA de 99,18% (-0,82%) e NRFI de 81,56% (-18,44%). Estes resultados corroboram para afirmar que as variedades IPR-102 e Rubi apresentam uma maior tolerância a baixas doses de zinco, mas também uma sensibilidade à dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.

Considerando-se o diâmetro relativo do caule (DCR), a altura relativa de planta (ALTR), o volume relativo da raiz (VRR) e o número relativo de ramos plagiotrópicos (NRRP), quando se omitiu o fornecimento de Zn, observou-se que a variedade Rubi apresentou DCR de 108,49% (+8,49%), ALTR de 106,45% (+6,45%) e VRR de 115,63% (15,63%). No entanto, a mesma apresentou um NRRP de 89,72%, correspondente 10,28% de redução (Quadro 10). Provavelmente, a omissão de Zn interferiu no seu crescimento fazendo com que o NRP fosse menor, contudo, a omissão não interferiu no DC, ALT e VR. Tais resultados confirmam a maior tolerância desta variedade à carência de zinco.

Apesar da variedade São Bernardo ter apresentado um VRR de 111,11% (+11,11%), tal fato não proporcionou maiores ou menores produções relativas de MS, AFR, DCR, ALTR e NRRP (Quadro 10). Talvez esta

variedade tenha absorvido Zn suficiente para seu crescimento radicular, mas não para um crescimento adequado do resto da planta.

Quadro 9 - Médias de número relativo de folhas (>100% incrementos ou <100% reduções) apicais (NRFA), recém-maduras (NRFRM), inferiores (NRFI) e totais (NRFT), nas onze variedades de cafeeiro estudadas.

VARIEDADES	NÚMERO DE FOLHAS (%)							
	NRFA		NRFRM		NRFI		NRFT	
Acaíá Cerrado	111,90	a	106,55	ab	78,93	b	99,99	ab
Caturra Amarelo	39,71	b	57,02	b	76,42	b	52,63	c
Catucaí Vermelho	96,49	ab	138,46	ab	173,33	a	124,89	a
IPR-102	99,18	a	152,80	a	81,56	b	114,84	ab
Oeiras	87,04	ab	92,16	ab	89,32	b	89,26	abc
Paraíso	79,99	ab	76,39	ab	101,33	b	85,78	abc
Rubi	110,89	a	137,27	ab	86,28	b	110,77	ab
San Ramon	74,72	ab	80,95	ab	86,18	b	79,78	bc
São Bernardo	96,76	ab	94,39	ab	77,78	b	91,24	abc
Topázio	104,63	a	95,33	ab	97,10	b	99,63	ab
Tupi	127,78	a	90,02	ab	89,26	b	104,25	ab
Média	93,55		101,99		94,31		95,73	
CV (%)	32,96		30,31		24,75		23,57	

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Para o DCR, ALTR e VRR não foram observadas diferenças significativas entre as variedades estudadas, quando se omitiu o fornecimento de zinco, mas a variedade IPR-102 foi a que apresentou o maior NRRP, na ordem de 109,95% (+9,95%), diferindo estatisticamente somente das variedades Caturra Amarelo e San Ramon, que apresentaram os menores NRRP 46,49% (-53,51%) e 53,89% (-46,11%), respectivamente, mas não diferiram estatisticamente entre si. As demais variedades não diferiram estatisticamente entre si (Quadro 10).

O agrupamento das 11 variedades de cafeeiro pelo método de Tocher, em função dos valores relativos das características de crescimento avaliadas, está apresentado no Quadro 11. A análise dos dados resultou na formação de três grupos, sendo que o grupo I reuniu oito variedades, o

grupo II as variedades IPR-102 e Rubi, e o grupo III a variedade São Bernardo.

Quadro 10 - Médias do diâmetro relativo do caule (DCR), da altura relativa de planta (ALTR), do volume relativo da raiz (VRR) e do número relativo de ramos plagiotrópicos (NRRP) nas onze variedades de cafeeiros estudadas.

VARIEDADES	DCR				ALTR				VRR				NRRP			
	(%)															
Acaiá Cerrado	103,12	a	93,62	a	86,85	a	102,92	ab								
Caturra Amarelo	96,60	a	89,81	a	100,00	a	46,49	c								
Catucaí Vermelho	101,03	a	101,97	a	133,34	a	105,56	ab								
IPR-102	96,42	a	107,07	a	64,82	a	109,95	a								
Oeiras	109,84	a	99,91	a	125,80	a	73,33	abc								
Paraíso	90,57	a	88,96	a	90,48	a	60,00	abc								
Rubi	108,49	a	106,45	a	115,63	a	89,72	abc								
San Ramon	89,68	a	88,94	a	126,93	a	53,89	bc								
São Bernardo	90,19	a	93,25	a	111,11	a	93,33	abc								
Topázio	93,92	a	94,02	a	111,76	a	97,20	abc								
Tupi	84,05	a	89,91	a	97,06	a	107,77	a								
Média	96,72		95,81		105,79		85,47									
CV (%)	14,76		10,91		35,18		31,38									

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Quando se omitiu o fornecimento de zinco na solução nutritiva a variedade São Bernardo, do grupo III, apresentou a menor MSRFA de 17,44%, o que representou uma redução de 82,56% da MSFA. A mesma variedade ainda apresentou baixas produções relativas de MSRFRM (67,76%), MSRT (82,99%), AFRFA (44,18%), NRFI (77,78%) e DCR (90,19%). Valores esses que representaram reduções na ordem de 32,24%; 17,01%; 55,82%; 22,22% e 9,81% respectivamente. O comportamento desta variedade, quando se omitiu o fornecimento de zinco, indica uma baixa tolerância desta variedade a baixas doses do nutriente (Quadro 7 e 11).

O grupo II, formado pelas variedades IPR-102 e Rubi, apresentou produções relativas na MSRFI de 104,36%, na MSRC de 120,43%, na MSRR de 107,93%, AFRFRM de 102,89%, NRFA de 105,04%, NRFRM de

145,04%, NRFT de 112,80%, DCR de 102,45% e ALTR de 106,76%, valores esses que representaram incrementos na ordem de 4,36%; 20,43%; 7,93%; 2,89%; 5,04%; 45,04%; 12,80%; 2,45%; e 6,76% respectivamente (Quadro 7 e 11). Tais resultados demonstram que essas duas variedades são mais tolerantes ao baixo zinco, mas que também apresentaram uma baixa tolerância à dose de $6,0 \mu\text{mol. L}^{-1}$ de zinco, nas fases iniciais do cultivo em solução nutritiva. As variedades do grupo I apresentaram comportamento semelhante entre si, e os valores relativos para as variáveis de crescimento indicam tolerância moderada dessas variedades ao baixo fornecimento de zinco.

A análise multivariada de agrupamento consiste em estimar medidas de dissimilaridade, com base em variáveis quantitativas, nesse caso aplicou-se distância de Mahalanobis, entre pares de materiais genotípicos, destinados a análise de agrupamento pelo método de Tocher. Método esse que forma grupos onde há homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos, ou seja, evidencia quem é igual ou diferente um do outro (Cruz, 2006).

A Figura 1 exibe a dispersão gráfica das variedades no plano bidimensional, envolvendo a primeira e a segunda variáveis canônicas, as quais apresentaram 89,87% da variação total disponível. Observa-se claramente o distanciamento entre os grupos de variedades, e a proximidade entre as variedades dentro do grupo I, confirmando a eficácia do método de discriminação destas variedades, conforme caracterizado na análise de agrupamento pelo método de Tocher (Quadro 11).

Todos os grupos apresentaram comportamento semelhante com relação aos valores relativos de AFRFI, de AFRT e do NRRP, exibindo valores médios de 82,89%; 80,57 e 91,35%, respectivamente, o que representaria reduções na ordem de 17,11%; 19,43% e 8,65%, sendo que as maiores diferenças foram observadas para as produções relativas de matéria seca (Quadro 11).

As produções relativas de matéria seca representaram a maior importância relativa para divergência entre as variedades, com destaque para MST, enquanto que a área foliar relativa apresentou a menor importância relativa. Os resultados também comprovam que as variáveis

número de folhas, diâmetro do caule, altura de planta, volume de raiz e número de ramos plagiotrópicos são relativamente invariantes ou representadas por outros caracteres demonstram serem supérfluos.

Quadro 11 – Agrupamento pelo método de Tocher de onze variedades de cafeeiro, com base na Distância Generalizada de Mahalanobis, em função das produções relativas causadas pela deficiência de Zn em dezoito variáveis, sendo seis de produção de matéria seca (MSRFA, MSRFRM, MSRFI, MSRC, MSRR e MSRT); quatro de área foliar (AFRFA, AFRFRM, AFRFI e AFRT), quatro de número de folhas (NRFA, NRFRM, NRFI e NRFT) e diâmetro do caule (DCR), altura de planta (ALTR), volume de raiz (VRR) e número de ramos plagiotrópicos (NRRP).

VARIÁVEIS	GRUPOS		
	I	II	III
	VARIEDADES*		
	1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11	4, 7	9
MSRFA	58,70	70,91	17,44
MSRFRM	87,10	91,69	67,76
MSRFI	90,10	104,36	105,16
MSRC	79,72	120,43	83,02
MSRR	108,71	107,93	107,53
MSRT	86,64	99,74	82,99
AFRFA	47,61	62,52	44,18
AFRFRM	88,83	102,89	80,71
AFRFI	77,46	83,33	87,88
AFRT	75,29	90,39	76,03
NRFA	90,28	105,04	96,76
NRFRM	92,17	145,04	94,39
NRFI	98,98	83,92	77,78
NRFT	92,03	112,80	91,24
DCR	96,10	102,45	90,19
ALTR	93,39	106,76	93,25
VRR	109,02	90,22	111,11
NRRP	80,89	99,83	93,33

* 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio e 11 Tupi.

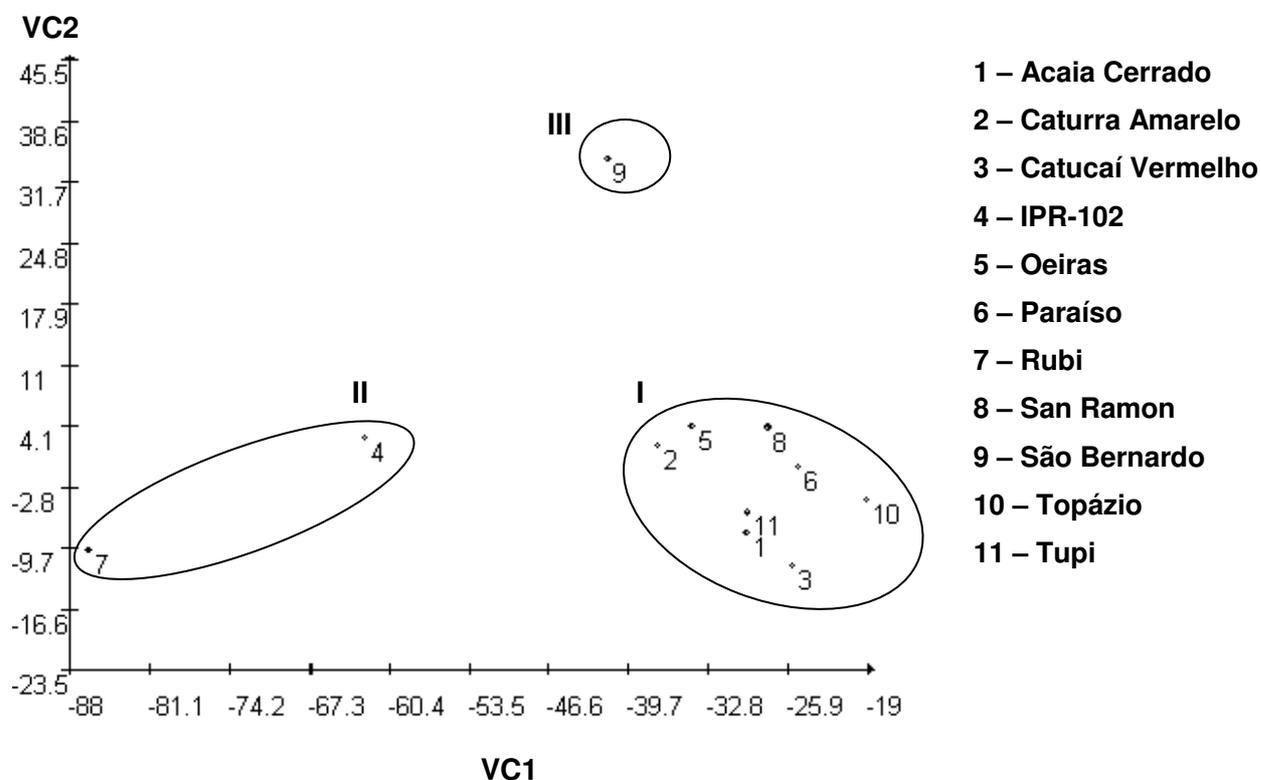


Figura 1. Dispersão gráfica de 11 variedades de cafeeiro em relação à primeira (VC1) e segunda (VC2) variáveis canônicas, obtidas com base em 18 variáveis de crescimento, sendo seis variáveis de produção relativa de matéria seca (MSRFA, MSRFRM, MSRFI, MSRC, MSRR e MSRT); quatro de área foliar relativa (AFRFA, AFRFRM, AFRFI e AFRT), quatro de número relativo de folhas (NRFA, NRFRM, NRFI e NRFT) e diâmetro relativo do caule (DCR), altura relativa de planta (ALTR), volume relativo de raiz (VRR) e número relativo de ramos plagiotrópicos (NRRP).

4. CONCLUSÕES

A concentração de zinco fornecida influenciou a produção de matéria seca em todas as partes avaliadas, mas principalmente nas folhas apicais, havendo variabilidade de resposta entre as variedades estudadas.

A variedade São Bernardo demonstrou ser menos tolerante a baixas doses de zinco que as demais variedades estudadas.

As variedades IPR-102 e Rubi são mais tolerantes ao baixo zinco, e demonstraram ter o crescimento prejudicado na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, que se mostra adequada às demais variedades.

A variedade San Ramon, apesar de ter sido agrupada com as variedades medianamente tolerantes, apresentou a menor produção média de matéria seca; menores médias de área foliar e menores médias de números de folhas, em todas as partes da planta avaliadas, indicando que sua tolerância se deve às baixas taxas de crescimento.

As demais variedades são medianamente tolerantes ao baixo zinco.

A matéria seca demonstrou ser à característica de maior importância relativa na discriminação das variedades estudadas, principalmente e matéria seca total.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DE ZINCO EM VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA

1. INTRODUÇÃO

Estudos realizados em lavouras cafeeiras do estado de Minas Gerais indicam que um dos principais problemas nutricionais referem-se aos micronutrientes, e que dentre estes o zinco merece destaque em várias regiões do estado (Martinez *et al.*, 2003). A deficiência de Zn pode comprometer a produtividade de uma cultura por interferir no crescimento e no desenvolvimento das plantas (Epstein, 1975).

Os solos empregados na cafeicultura, em geral, são argilosos, com mineralogia predominantemente caulínica e oxídica, responsáveis por promover forte adsorção do Zn, o que diminui sua disponibilidade para as plantas, ainda que fornecido adequadamente via adubação (Lima *et al.*, 2005).

A concentração de zinco nas plantas varia de 3 a 150 mg kg⁻¹ de matéria seca (Fernandes, 2006). Segundo alguns autores (Malavolta, 1993; Mills & Jones, 1996; Malavolta *et al.*, 1997), para o cafeeiro, os valores de faixa crítica de zinco, com base no teor total do elemento em folhas recém-maduras, variam entre 8,0 e 30,0 mg kg⁻¹ de matéria seca. Partelli *et al.* (2005), estudando a faixa crítica foliar em cafeeiro arábica na região de Manhuaçu, verificaram que os teores foliares de zinco variaram de 8,51 a 19,2 mg kg⁻¹. A concentração de zinco nas folhas pode não ser um indicador ideal do estado nutricional da planta em relação ao elemento, por sugerir que apenas uma proporção do teor total de zinco estaria fisiologicamente disponível (Malavolta *et al.*, 1997).

Segundo Malavolta *et al.* (2002), as diferenças significativas de conteúdo de micronutrientes entre variedades devem-se à variação genética, ao grau de intensidade de demanda do dreno e às interações entre os nutrientes,

isso quando o ambiente de cultivo é semelhante. A eficiência nutricional em plantas pode estar relacionada à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes. Variedades mais eficientes na absorção de nutrientes do solo podem decorrer de fatores relacionados à função e estrutura radicular, incluindo características morfológicas, bem como mecanismos bioquímicos responsáveis pela transferência de íons nas membranas das células radiculares (Ahmad *et al.*, 2001).

Sob mesmas condições de cultivo, certas variedades de uma cultura apresentam comportamentos distintos em relação às características nutricionais, proporcionando diferentes respostas de crescimento e produtividade. Tal comportamento pode ser resultante de diferenças entre as variedades em relação ao aproveitamento de nutrientes. Segundo Zhang & Brown (1999), sob condições de suprimento adequado de zinco, apenas uma pequena porção desse elemento pode ser retranslocada no floema, e a limitação no mecanismo de remobilização pode ser atribuída à alta afinidade do Zn^{2+} com as cargas livres dos vasos dos tecidos foliares.

O acúmulo de Zn nas folhas é influenciado pelo estado nutricional da planta. Plantas deficientes acumulam zinco preferencialmente em folhas velhas, sob essas condições não há acúmulo em tecidos jovens (Loneragan *et al.*, 1987).

Silva (1979) verificou em cafeeiros uma mobilidade parcial do zinco na folha. No entanto, segundo Malavolta (1980), há indicação de que o cafeeiro é pouco eficiente em absorver e translocar zinco.

Favaro (1992) observou imobilidade de zinco no cafeeiro, quando o mesmo foi aplicado no terceiro par de folhas, sugerindo que o zinco absorvido por folhas maduras não foi distribuído para outras regiões da planta. Segundo o autor, esse fato, aliado à observação de baixas concentrações de zinco surgidas após as pulverizações nas folhas, comprovam a baixa mobilidade ou mesmo a imobilidade do zinco, quando aplicado às folhas do cafeeiro.

Segundo Martinez *et al.* (2005), o caule apresenta-se como local de armazenamento de zinco, tanto em cafeeiro como em feijoeiro, mesmo que temporário, e não somente local de transporte do nutriente, e com mínima mobilidade no floema do cafeeiro. Segundo Martinez *et al.*, 2007, cafeeiros

com 55 meses de idade apresentaram acúmulos de zinco de 103,0 mg planta⁻¹ e concentrações foliares de zinco da ordem de 9 a 20 mg kg⁻¹.

Diferentes mecanismos que influenciam a eficiência de absorção dos micronutrientes foram observados por Fageria *et al.* (2002), inclusive para o Zn, sendo alguns fatores específicos para determinados elementos, enquanto outros são comuns. Esses autores concluíram que a resposta às condições de deficiência de Zn depende de características genéticas da própria planta e do ambiente de cultivo. Li *et al.* (1991) estudando os aspectos nutricionais mais especificamente, definiram a eficiência de uso ou nutricional como resultante do produto entre as eficiências de aquisição e utilização; por sua vez, a eficiência de aquisição é composta pela eficiência de absorção e de enraizamento, enquanto a eficiência de utilização é formada pela eficiência de transporte e de produção de biomassa.

Quanto maior for a eficiência de utilização de nutrientes, maior a eficiência de uma variedade em converter o nutriente em matéria seca. A eficiência de utilização nada mais é do que o resultado da interação entre absorção, transporte, redistribuição e metabolismo em uma planta.

Na literatura é comum o uso das expressões “eficiência de absorção” e “eficiência de utilização” aplicadas aos macro e micronutrientes. Eficiência de absorção é a capacidade de absorver ou adquirir o elemento quando se encontra em baixas concentrações, fato que está relacionado com parâmetros cinéticos, morfologia das raízes e, no caso do zinco, produção de metalóforos, havendo diferenças entre gêneros, espécies e variedades. Já a eficiência de utilização é a capacidade de converter o elemento absorvido em folhas, frutos, raízes e caules (Malavolta, 2006).

Zabini *et al.* (2007), estudando a concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros eficientes no uso de zinco verificaram que a eficiência nutricional para zinco não está relacionada à manutenção de concentrações elevadas do micronutriente, pigmentos e compostos indólicos nas folhas de mudas de cafeeiros.

Reis Jr & Martinez (2002), estudando a absorção e translocação de Zn em variedades de cafeeiro em solução nutritiva, observaram maior eficiência de absorção de Zn para variedade Catuaí em relação à Conilon, no entanto esta última apresentou maior produção de matéria seca por apresentar maior

eficiência de utilização de Zn que a variedade Catuaí. Tal fato evidencia a necessidade de se conhecer profundamente os mecanismos que interferem na absorção e na eficiência de utilização de zinco.

A absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes apresentam controle genético, havendo, portanto, a possibilidade de melhorar e, ou selecionar variedades mais eficientes quanto à utilização de nutrientes, como o Zn (Galbeman & Gerloff, 1983). A constatação de diferenças no comportamento nutricional permite alocar variedades menos exigentes em zinco para solos mais pobres em zinco ou indicar adubações mais intensas, evitando-se, desta forma, problemas futuros.

Cada vez mais se torna necessário conhecer os mecanismos que controlam a eficiência de aproveitamento de um nutriente por diferentes variedades, por serem estes amplamente afetados por inúmeras características. Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a eficiência do uso de zinco em variedades de café arábica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em casa de vegetação no período de fevereiro a outubro de 2007.

As variedades de café empregadas são relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1. Relação das variedades de *Coffea arabica* L. avaliadas.

IDENTIFICAÇÃO	VARIETADES
1	Acaíá Cerrado MG-1474
2	Caturra Amarelo IAC-476
3	Catucaí Vermelho 785-15
4	IPR-102
5	Oeiras MG-6851
6	Paraíso MGH-419-1
7	Rubi MG-1192
8	San Ramon
9	São Bernardo
10	Topázio MG-1190
11	Tupi IAC 1669-33

As sementes das variedades avaliadas foram germinadas em areia, irrigadas com água deionizada e transplantadas no estágio de folhas cotiledonares para bandejas contendo a solução nutritiva de Clark a ¼ de força, após adaptação foram transplantadas para vasos de oito litros, nos quais receberam solução de Clark modificada com a seguinte composição: N-NO₃⁻ 12,52 mmol L⁻¹; N-NH₄⁺ 0,90 mmol L⁻¹; P-H₂PO₄⁻ 0,069 mmol L⁻¹; K⁺ 1,80 mmol L⁻¹; Ca⁺⁺ 2,629 mmol L⁻¹; Mg⁺⁺ 1,20 mmol L⁻¹; S-SO₄⁻ 2,60 mmol L⁻¹; B 19,0 µmol L⁻¹; Cu 0,50 µmol L⁻¹; Mn 7,00 µmol L⁻¹; Mo 0,086 µmol L⁻¹; Fe 40 µmol L⁻¹, (Martinez, 2002), sendo o zinco fornecido nas concentrações de 0,0 e 6,0 µmol L⁻¹. O experimento constituiu-se de um esquema fatorial 11 x 2 (onze variedades e duas concentrações de zinco), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, sendo cada parcela formada por um vaso de oito litros de solução com duas plantas.

As soluções-estoque de cloreto férrico e de macronutrientes foram purificadas de modo a se evitar possíveis contaminações por resíduos, como descrito no primeiro capítulo dessa tese.

A solução foi mantida sob aeração constante com ar comprimido, o pH ajustado semanalmente a $5,0 \pm 0,5$ e a troca da solução nutritiva realizada mediante o critério de 30% de depleção da condutividade elétrica inicial. Realizaram-se quatro trocas, sendo que, a partir da primeira troca acrescentou-se 8,0 mL de Fe-EDTA por vaso, devido ao surgimento de sintomas de deficiência de ferro nas plantas.

Ao final do experimento todo material vegetal foi lavado em água desionizada e seco em estufa com circulação forçada de ar, a aproximadamente 70°C , por 72 horas, e em seguida moído em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh, após esses procedimentos foram obtidos a produção de matéria seca em cada parte avaliada.

As concentrações de zinco em todas as partes da planta foram determinadas em 0,5 g de material após mineralização nitroperclórica sendo a dosagem do zinco realizada por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta *et al.*, 1997). O conteúdo de zinco (CZn) foi determinado a partir dos resultados de matéria seca e da concentração de zinco total nas diferentes partes avaliadas.

$$\text{CZn } (\mu\text{g}) = \{\text{concentração de Zn } (\mu\text{g g}^{-1}) \times \text{matéria seca (g)}\}$$

Os índices de eficiência nutricional foram calculados conforme as fórmulas:

a) Eficiência de absorção (EA)

$$\text{EA } (\mu\text{g g}^{-1}) = \text{CZnT} / \text{MSR}$$

b) Eficiência de produção de biomassa foliar (EPBF)

$$\text{EPBF } (\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}) = \text{MSF}^2 / \text{CZnF}$$

c) Eficiência de produção de biomassa (EPB)

$$\text{EPB } (\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}) = \text{MSPA}^2 / \text{CZnPA}$$

d) Eficiência de utilização de zinco (EU)

$$\text{EU } (\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}) = \text{MST}^2 / \text{CZnT}$$

Em que:

MST = Matéria seca total da planta (g),

MSR = Matéria seca de raiz (g),

MSPA = Matéria seca da parte aérea (g),

MSF = Matéria seca das folhas (g),

CZnT = Conteúdo total de zinco na planta (μg),

CZnPA = Conteúdo de zinco na parte aérea da planta (μg),

CZnF = Conteúdo de zinco nas folhas da planta (μg).

Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (Cruz, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo de zinco em todas as partes das plantas cultivadas na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco foi significativamente superior ao conteúdo apresentado pelas plantas cultivadas na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco (Quadros 2 e 3). A principal maneira de se determinar a exigência nutricional de uma planta é através da quantidade de nutriente acumulado na matéria seca vegetal, normalmente expressa em conteúdo total do nutriente.

Nas folhas apicais o conteúdo médio de zinco (CZnFA) nas doses $0,0$ e $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco foram de $13,0 \mu\text{g}$ e $36,0 \mu\text{g}$, o que correspondeu a uma redução de $63,89\%$ quando se omitiu o seu fornecimento. A variedade IPR-102 foi a que apresentou a maior média de CZnFA ($46,0 \mu\text{g}$), não diferindo estatisticamente das variedades Acaíá Cerrado, Caturra Amarelo, Oeiras, Topázio e Tupi, que apresentaram as respectivas médias $42,0$; $45,0$; $37,0$; $37,0$ e $38,0 \mu\text{g}$ quando cultivadas na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn. Quando o fornecimento de zinco foi omitido as variedades não diferiram estatisticamente entre si; no entanto as variedades Acaíá Cerrado e Tupi foram as que apresentaram maiores médias ($17,0 \mu\text{g}$) e as variedades Caturra Amarelo e San Ramon as menores médias ($7,0 \mu\text{g}$) no CZnFA nessas condições (Quadro 2).

Para o conteúdo de zinco nas folhas recém maduras (CZnFRM) observa-se que as plantas que receberam $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn apresentaram em média um aumento de 50% em seu conteúdo, em relação às plantas que receberam $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn. A variedade IPR-102 se destaca por ter apresentado o maior CZnFRM ($124,0 \mu\text{g}$) com a dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, porém, esta variedade não diferiu significativamente das variedades Caturra Amarelo, Oeiras, Rubi, Topázio e Tupi. A variedade San Ramon foi a que apresentou o menor CZnFRM ($43,0 \mu\text{g}$), e esta não diferiu das variedades Catucaí Vermelho ($69,0 \mu\text{g}$), Paraíso ($72,0 \mu\text{g}$) e São Bernardo ($67,0 \mu\text{g}$) na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn (Quadro 2).

A menor redução do conteúdo de zinco com a omissão foi observada nas folhas inferiores (CZnFI), nas quais a média de conteúdo na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn foi de $34,0 \mu\text{g}$, e na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn foi de

Quadro 2 – Médias dos conteúdos de zinco nas folhas apicais (CZnFA), folhas recém maduras (CZnFRM) e folhas inferiores (CZnFI) de 11 variedades de cafeeiro em resposta às duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$).

VARIETADES	CONTEÚDO DE ZINCO (μg)																	
	CZnFA			CZnFRM			CZnFI											
	0,0		6,0	0,0		6,0	0,0		6,0									
$\mu\text{mol L}^{-1}$																		
Acaia Cerrado	17,0	B	a	42,0	A	abc	49,0	B	a	85,0	A	bc	23,0	B	ab	39,0	A	a
Caturra Amarelo	7,0	B	a	45,0	A	ab	46,0	B	a	109,0	A	ab	24,0	B	ab	37,0	A	a
Catucaí Vermelho	16,0	B	a	35,0	A	cd	51,0	A	a	69,0	A	cd	25,0	A	a	31,0	A	ab
IPR-102	16,0	B	a	46,0	A	a	61,0	B	a	124,0	A	a	19,0	B	ab	39,0	A	a
Oeiras	10,0	B	a	37,0	A	abcd	41,0	B	a	89,0	A	abc	20,0	B	ab	36,0	A	ab
Paraíso	11,0	B	a	35,0	A	bcd	31,0	B	a	72,0	A	bcd	18,0	B	ab	35,0	A	ab
Rubi	15,0	B	a	35,0	A	bcd	45,0	B	a	98,0	A	abc	27,0	B	a	37,0	A	ab
San Ramon	7,0	B	a	21,0	A	e	26,0	A	a	43,0	A	d	15,0	A	b	21,0	A	c
São Bernardo	12,0	B	a	27,0	A	de	31,0	B	a	67,0	A	cd	21,0	A	ab	27,0	A	bc
Topázio	13,0	B	a	37,0	A	abcd	36,0	B	a	98,0	A	abc	26,0	B	a	36,0	A	ab
Tupi	17,0	B	a	38,0	A	abc	61,0	B	a	96,0	A	abc	21,0	B	ab	40,0	A	a
Média	13,0			36,0			43,0			86,0			22,0			34,0		
CV (%)	22,13			29,73			17,84											

As médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

22,0 µg, o que corresponde a uma redução de 35,29%. Quando o fornecimento de zinco foi omitido a variedade Rubi apresentou o maior CZnFI (27,0 µg), e esta só diferiu significativamente da variedade San Ramon, que apresentou a menor média 15,0 µg. Na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn os maiores CZnFI foram observados nas variedades Acaiá Cerrado e IPR-102 (39,0 µg), e estas diferiram estatisticamente das variedades São Bernardo e San Ramon, que apresentaram 27,0 e 21,0 µg de CZnFI, respectivamente (Quadro 2).

Reis Jr & Martinez (2002) estudando a absorção, translocação e utilização de Zn e P em cafeeiros observaram que os conteúdos de Zn no caule, parte aérea e raízes aumentaram com o fornecimento de zinco. Resultado este semelhante ao observado neste trabalho.

O caule foi o órgão da planta que mais acumulou zinco (CZnC), quando as plantas foram cultivadas na concentração de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn, acumulando em média 135,0 µg, enquanto na concentração de 0,0 µmol L⁻¹ de Zn o conteúdo médio foi de 21,0 µg, o que representa uma redução de 84,44%. No tratamento no qual o fornecimento de zinco foi omitido, não houve diferenças significativas entre as variedades, no entanto a variedade Acaiá Cerrado apresentou a maior média (37,0 µg), e a variedade San Ramon a menor média (11,0 µg) de CZnC. Na solução com 6,0 µmol L⁻¹ de Zn a maior média de CZnC foi observada para a variedade IPR-102 (241,0 µg), e esta diferiu estatisticamente de quase todas as outras variedades, com exceção da variedade Tupi, por ter apresentado uma média de 177,0 µg (Quadro 3).

No sistema radicular, observou-se um acúmulo de zinco (CZnR) na dose de 0,0 µmol L⁻¹ de Zn de 38,0 µg, e na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn um acúmulo de 132,0 µg, o que corresponde uma redução de 71,21% quando não houve o fornecimento do elemento. Ao se omitir o fornecimento de zinco observou-se maior CZnR para a variedade Rubi (49,0 µg), e a menor média para as variedades Oeiras e Tupi (31,0 µg), no entanto para a concentração de 0,0 µmol L⁻¹ de Zn não foram observadas diferenças significativas entre as variedades.

Na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn, observou-se maior CZnR para a variedade Oeiras (218,0 µg), esta variedade não diferiu das variedades

Quadro 3 – Médias dos conteúdos de zinco nos caules (CZnC), nas raízes (CZnR) e total (CZnT) de 11 variedades de cafeeiro em resposta às duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$).

VARIETADES	CONTEÚDO DE ZINCO (μg)											
	CZnC				CZnR				CZnT			
	0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0	
$\mu\text{mol L}^{-1}$												
Acaiá Cerrado	37,0	B a	113,0	A bc	43,0	B a	172,0	A ab	169,0	B a	452,0	A ab
Caturra Amarelo	19,0	B a	142,0	A bc	44,0	B a	116,0	A bc	139,0	B a	449,0	A abc
Catucaí Vermelho	19,0	B a	139,0	A bc	47,0	B a	113,0	A bc	159,0	B a	388,0	A bcd
IPR-102	31,0	B a	241,0	A a	42,0	B a	129,0	A bc	171,0	B a	580,0	A a
Oeiras	19,0	B a	144,0	A bc	31,0	B a	218,0	A a	122,0	B a	525,0	A ab
Paraíso	22,0	B a	110,0	A bc	38,0	B a	165,0	A ab	119,0	B a	417,0	A bc
Rubi	21,0	B a	109,0	A bc	49,0	B a	139,0	A bc	156,0	B a	417,0	A bc
San Ramon	11,0	B a	79,0	A c	28,0	A a	67,0	A c	86,0	B a	231,0	A d
São Bernardo	18,0	B a	86,0	A c	34,0	A a	82,0	A c	115,0	B a	288,0	A cd
Topázio	20,0	B a	144,0	A bc	37,0	B a	116,0	A bc	132,0	B a	431,0	A abc
Tupi	18,0	B a	177,0	A ab	31,0	B a	136,0	A bc	148,0	B a	488,0	A ab
Média	21,0		135,0		38,0		132,0		138,0		424,0	
CV (%)	52,43				46,08				29,70			

As médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Acaiá Cerrado e Paráíso, que apresentaram 172,0 e 165,0 µg de Zn. O menor CZnR na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn foi observado para a variedade San Ramon (67,0 µg). Estes resultados demonstram que Oeiras possui baixa eficiência em absorver zinco, quando o mesmo se encontra em baixas concentrações no meio, mas quando na concentração de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn foi capaz de acumular mais zinco nas raízes do que as demais variedades (Quadro 3). Reis Jr & Martinez (2002) também observaram que o teor de zinco nas raízes do Catuaí, e a maior produção de matéria seca de raiz do Conilon, fizeram com que nenhuma diferença significativa fosse verificada entre os conteúdos de zinco nas raízes dos dois cafeeiros.

O conteúdo de zinco total (CZnT), resultante do somatório do conteúdo presente em todas as partes da planta, no tratamento com dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn foi, em média, 67,45% superior ao conteúdo de zinco quando se omitiu o fornecimento deste elemento. Na dose de 0,0 µmol L⁻¹ de Zn não foram observadas diferenças significativas entre as variedades. O maior CZnT, na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn, foi observado para a variedade IPR-102 (580,0 µg), e este não diferiu do das variedades Acaiá Cerrado, Caturra Amarelo, Oeiras, Topázio e Tupi. Nessa mesma condição o menor média CZnT foi apresentado pela variedade San Ramon (231,0 µg) (Quadro 3). O baixo acúmulo de zinco total pela variedade San Ramon indica uma menor exigência de zinco.

Observaram-se diferenças significativas entre as duas doses de zinco aplicadas, no entanto na dose de 0,0 µmol L⁻¹ somente o CZnT apresentou diferenças entre variedades. Para a dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn verificou-se uma grande variabilidade entre as variedades estudadas.

Tomaz *et al.* (2006), estudando a absorção, translocação e utilização de Zn, Cu e Mn em cafeeiros enxertados, observaram que os resultados de conteúdo total de zinco e a produção total de matéria seca na planta, demonstravam que a taxa de aumento ou decréscimo dessas variáveis, na maioria das vezes, eram proporcionais aos valores observados para a eficiência de utilização de zinco.

Reis Jr & Martinez (2002) observaram maiores conteúdos de zinco em todas as partes da planta para a variedade Catuaí, que apresentou conteúdo de zinco nas folhas, caules e parte aérea iguais a 110,0; 63,3 e

172,0 μg , respectivamente, evidenciando a maior exigência de zinco por esta variedade do que pela Conilon. Os mesmos autores também verificaram que os conteúdos de zinco no caule, parte aérea e raízes aumentaram com o fornecimento de zinco, sendo os maiores conteúdos de Zn no caule e raízes observados em plantas cultivadas na dose de 2,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn tanto para Catuaí como na Conilon.

Em relação ao suprimento de zinco as variedades estudadas apresentaram comportamento muito diferenciado para as variáveis de eficiência nutricional estudadas. A eficiência de absorção (EA) foi superior para todas as variedades que foram cultivadas na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, quando comparadas com as variedades cultivadas na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn (Quadro 4). Tais resultados demonstram que as plantas foram capazes de absorver mais zinco por unidade de matéria seca de raiz quando este elemento foi disponibilizado na solução nutritiva.

As diferenças genotípicas na eficiência nutricional podem estar relacionadas com a demanda de nutrientes em nível celular, compartimentalização, utilização na parte aérea, no transporte, na afinidade do sistema de absorção, concentração mínima do nutriente e modificações na rizosfera (Marschner, 1995).

Zabini (2004) observou que a progênie UFV 4066-5 apresentou uma baixa produção de matéria seca, o que resultou em baixa eficiência de absorção, mas o baixo conteúdo de zinco total juntamente com a elevada produção de biomassa da parte aérea e alta produção de biomassa total, evidenciaram uma elevada eficiência nutricional dessa progênie. Segundo Baligar & Fageria (1998) a eficiência nutricional em plantas pode estar relacionada à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes.

A maior média de eficiência de absorção (EA) na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, foi apresentada pela variedade Acaíá Cerrado (44,91 $\mu\text{g g}^{-1}$) e quando cultivada na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn essa mesma variedade apresentou uma EA na ordem de 136,83 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Quadro 4). Esta, quando cultivada nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, apresentou as moderadas médias de eficiência de produção de biomassa (EPB) (1,865 e 0,924 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), de eficiência de produção de biomassa foliar (EPBF) (1,169 e 0,674 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$) e eficiência de utilização de zinco (EU) (2,143 e 0,846 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$). Estes

Quadro 4 – Médias da eficiência de absorção (EA), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência de produção de biomassa foliar (EPBF) e da eficiência de utilização de zinco (EU) de 11 variedades de cafeeiro em resposta às duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$).

VAR*	EFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS																	
	EA ($\mu\text{g g}^{-1}$)				EPB ($\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$)				EPBF ($\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$)				EU ($\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$)					
	0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0		0,0		6,0			
	$\mu\text{mol L}^{-1}$																	
1	44,91	B a	136,83	A ab	1,865	A abcd	0,924	B a	1,169	A bcd	0,674	B bc	2,143	A bcd	0,846	B a		
2	30,26	B a	102,33	A cd	2,089	A ab	1,001	B a	1,323	A abc	0,941	A abc	2,497	A abc	1,151	B a		
3	34,32	B a	121,80	A bcd	1,601	A bcd	0,877	A a	1,374	A ab	0,869	B abc	2,149	A abcd	0,925	B a		
4	38,76	B a	110,49	A bcd	2,722	A a	1,115	B a	1,742	A a	1,279	B a	3,175	A a	1,325	B a		
5	33,79	B a	162,76	A a	1,687	A bcd	0,639	B a	1,149	A bcd	0,649	B bc	2,122	A bcd	0,566	B a		
6	30,27	B a	93,09	A d	1,079	A cde	0,748	A a	0,822	A cde	0,745	A abc	1,501	A cde	0,831	A a		
7	33,13	B a	137,63	A ab	2,543	A ab	0,583	B a	1,187	A bcd	0,606	B bc	2,909	A ab	0,614	B a		
8	29,97	B a	97,60	A d	0,677	A e	0,409	A a	0,552	A e	0,530	A c	0,971	A e	0,481	A a		
9	36,39	B a	105,06	A bcd	0,938	A de	0,618	A a	0,708	A de	0,633	A bc	1,224	A de	0,694	A a		
10	36,17	B a	132,56	A abc	1,739	A abcd	0,868	B a	1,215	A abcd	0,860	A abc	2,118	A bcd	0,925	B a		
11	42,92	B a	136,42	A ab	1,972	A abc	0,945	B a	1,354	A abc	1,083	A ab	2,266	A abc	1,005	B a		
Média	35,54		121,51		1,72		0,79		1,14		0,81		2,09		0,85			
CV (%)	21,35		40,89		28,31		35,54											

* 1 Acaia Cerrado, 2 Catuaí Amarelo, 3 Catuaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio e 11 Tupi. As médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

resultados indicam que embora com alta eficiência para absorver zinco, esta variedade tem moderada capacidade de utilização do elemento devido a menor aptidão em produzir biomassa por unidade de Zn absorvida, nas duas doses de zinco estudadas (Quadro 4).

Quando cultivada nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn a variedade Caturra Amarelo apresentou baixas EA (Quadro 4). No entanto, nas duas doses de zinco estudadas esta variedade apresentou moderada EPB (2,089 e 1,001 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), de EPBF (1,323 e 0,941 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$) e de EU de zinco (2,497 e 1,151 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), quando comparada com as demais variedades estudadas, demonstrando que esta variedade, apesar de apresentar baixa eficiência de absorção, possui capacidade moderada de utilização de zinco, nas duas doses de zinco avaliadas.

A variedade IPR-102, quando cultivada na dose 0,0 ou 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, apresentou as maiores EPB (2,722 e 1,115 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), EPBF (1,742 e 1,279 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$) e de EU de zinco (3,175 e 1,325 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$). No entanto, nessas mesmas condições, essa variedade apresentou média EA, na ordem de 38,76 e 110,49 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Quadro 4). Esses resultados evidenciam que a IPR-102 possui alta capacidade de utilização de zinco devido a maior aptidão em transformar o zinco absorvido em biomassa, mesmo esta tendo apresentado uma moderada eficiência de absorção de zinco nas duas doses de zinco.

A menor EA, na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, foi apresentada pela variedade San Ramon (29,97 $\mu\text{g g}^{-1}$), e quando cultivada na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn essa mesma variedade apresentou baixa EA (97,60 $\mu\text{g g}^{-1}$). Essa variedade, quando cultivada nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, apresentou as menores EPB (0,677 e 0,409 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), EPBF (0,552 e 0,530 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$) e EU de zinco (0,971 e 0,481 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$). Estes resultados demonstram a baixa eficiência desta variedade em absorver zinco, além de realçarem a baixa capacidade de utilização de zinco devido a menor aptidão em produzir biomassa por unidade de Zn absorvida, nas duas doses de zinco estudadas (Quadro 4).

A variedade Paraíso apresentou a menor EA (93,09 $\mu\text{g g}^{-1}$) quando cultivada na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn e quando cultivada na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, apresentou baixa EA (30,27 $\mu\text{g g}^{-1}$). No entanto, essa

variedade, quando cultivada na dose de 0,0 ou 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, apresentou medianas EPB (1,079 e 0,748 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), EPBF (0,822 e 0,745 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$) e EU de zinco (1,501 e 0,831 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$). Estes resultados comprovam a baixa eficiência da variedade Paraíso em absorver zinco, quando comparada com as demais variedades nas duas concentrações de zinco, mas também ressaltam que ela possui certa capacidade de utilização de zinco devido à sua aptidão em produzir biomassa por unidade de Zn absorvida, mesmo tendo apresentado uma menor eficiência em absorver o elemento (Quadro 4).

Na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn verifica-se que a variedade Oeiras apresentou a maior EA (162,76 $\mu\text{g g}^{-1}$). No entanto nessas mesmas condições apresentou baixas EPB (0,639 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$), EPBF (0,649 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$) e EU de zinco (0,566 $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$). Esses resultados demonstram que nessas condições apesar da sua alta eficiência em absorver zinco esta variedade possui uma baixa capacidade de utilização de zinco devido a reduzida aptidão em produzir biomassa por unidade de Zn absorvida (Quadro 4).

Reis Jr & Martinez (2002) verificaram maior eficiência de absorção para a variedade Catuaí, comparado a Conilon, quando cultivadas em solução nutritiva. A variedade Catuaí absorveu em média 52,5 μg de zinco por grama de matéria seca de raiz. No entanto, a Conilon apresentou maior produção de matéria seca por apresentar maior eficiência de utilização de Zn que a Catuaí. Para ambas a eficiência de absorção de Zn aumentou com o aumento de sua concentração na solução nutritiva, resultando em maiores conteúdos de zinco nas plantas.

Para eficiência de produção de biomassa (EPB) não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos para as variedades Catucaí Vermelho, Paraíso, San Ramon e São Bernardo (Quadro 4). As demais variedades estudadas apresentaram diferenças entre tratamentos sendo que todas apresentaram melhores EPB quando cultivadas na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn.

Avaliando-se a EPBF observaram-se diferenças significativas entre tratamentos somente para as variedades Acaia Cerrado, Catucaí Vermelho, IPR-102, Oeiras e Rubi, sendo as melhores EPBF observadas no cultivo na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn (Quadro 4).

Praticamente todas as variedades apresentaram maiores e melhores EU de zinco quando cultivadas na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, ou seja apresentaram diferenças significativas entre tratamentos. Somente as variedades Paraíso, San Ramon e São Bernardo não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Quadro 4).

Souza *et al.* (2001), estudando o efeito de diferentes doses zinco em cafeeiros, observaram que a variedade Catuaí apresentou uma alta capacidade de utilização de zinco, quando esse elemento se encontrava em baixas concentrações no solo, apresentando também nessas condições, biomassa maior que as variedades Icatu e Mundo Novo. Tais resultados sugeriram que a eficiência de utilização de zinco foi uma característica satisfatória para explicar a produção de matéria seca por variedades de café, na fase de muda, quando cultivadas em baixos teores de zinco.

Reis Jr e Martinez (2002) observaram que o aumento na concentração de zinco reduziu a eficiência de utilização desse nutriente pelas variedades Catuaí e Conilon. A Conilon apresentou a maior eficiência de utilização, produzindo em média $0,146 \text{ g}$ de matéria seca por miligrama de zinco absorvido ($\text{g MS mg}^{-1} \text{ ZnA}$), enquanto que a variedade Catuaí produziu em média $0,108 \text{ g MS } \mu\text{g}^{-1} \text{ ZnA}$.

No presente trabalho o aumento na concentração de zinco, de $0,0$ para $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, reduziu a EPB, a EPBF e a EU de zinco em todas as variedades estudadas (Quadro 4). Portanto, diferentes teores de zinco influenciam a eficiência de absorção deste pelo cafeeiro, e conseqüentemente o conteúdo de zinco em todas as partes avaliadas, principalmente nas folhas, bem como a eficiência nutricional das plantas.

4. CONCLUSÕES

A variedade IPR-102 demonstrou ser altamente eficiente no uso de zinco, nas duas doses estudadas.

A variedade Rubi apresentou alta eficiência de utilização do nutriente na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, e baixa eficiência de utilização na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, o que evidencia que esta dose é prejudicial a esta variedade.

As variedades San Ramon e São Bernardo apresentaram baixa eficiência de utilização de zinco, nas duas doses de zinco estudadas.

A variedade Oeiras apresentou baixa eficiência de utilização de zinco, quando cultivada na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn.

As demais variedades estudadas demonstraram ser moderadamente eficientes no uso de zinco, nas duas doses estudadas.

CAPÍTULO 3

MECANISMOS QUE INFLUENCIAM O DESENVOLVIMENTO E A TOLERÂNCIA DE VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA SOB DEFICIÊNCIA DE ZINCO

1. INTRODUÇÃO

Os micronutrientes são tão importantes para as plantas quanto os macronutrientes. A escassez de qualquer um dos micronutrientes no solo pode limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas (Marschner, 1995). A deficiência de micronutrientes pode ocasionar desequilíbrios no metabolismo vegetal, tornando as plantas mais sensíveis a pragas e doenças, proporcionando desta forma elevação nos custos de produção e queda de até 30 % da produção (Malavolta, 1986).

As plantas absorvem zinco na forma Zn^{2+} , e suas funções relacionam-se às propriedades de cátion bivalente com forte tendência a formar complexos tetraédricos. Atua também como componente metálico de enzimas ou como co-fator de inúmeras delas. A exemplo, a desidrogenase alcoólica, superóxido dismutase, anidrase carbônica e RNA-polimerase são enzimas que contêm zinco. O zinco possui também função de ativador enzimático por participar do metabolismo de carboidratos, proteínas, triptofano e ácido indol-acético (Marschner, 1995; Martinez, 2005).

A deficiência de zinco provoca um desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução do nitrato, promovendo uma diminuição no nível de RNA, o que resulta em menor síntese de proteínas e dificulta a divisão celular, fato este explicado pela inibição da RNAase (desidrogenase de RNA) pelo zinco, e este ainda faz parte da RNA polimerase, que sintetiza RNA, proporcionando menor tamanho de células, reduzindo, portanto, o comprimento dos internódios Malavolta (2006).

Quando há um grande suprimento de zinco muitas espécies o translocam em quantidades apreciáveis das folhas velhas para os meristemas de crescimento, mas quando as mesmas estão sob condição de deficiência apresentam baixa mobilidade do nutriente, que se acumula nas folhas velhas. Além disso, as raízes possuem maiores teores de zinco que a parte aérea, principalmente em plantas cultivadas em solos ricos em zinco (Ferreira & Cruz, 1991). No entanto, Malta *et al.* (1999) estudando a translocação de zinco aplicado ao cafeeiro via foliar, verificaram maiores concentrações de zinco nas folhas e caules basais, sugerindo uma baixa mobilidade do nutriente no cafeeiro.

O acúmulo de Zn nas folhas depende muito do estado nutricional da planta. Em plantas deficientes em Zn, a mobilidade desse nutriente torna-se bem menor nos tecidos mais jovens (Loneragan *et al.*, 1987), acumulando-se preferencialmente em folhas velhas, nessas condições não há acúmulo nos tecidos jovens.

Marschner (1995) menciona que há uma grande diversidade entre as espécies em relação ao requerimento de zinco, e que a concentração ótima de zinco varia de 20 a 120 mg kg⁻¹ na matéria seca, de acordo com as espécies. Segundo Martinez *et al.* (2005), em cafeeiro o caule apresenta-se como local de armazenamento de zinco, mesmo que temporário, e não somente local de transporte do nutriente. Segundo esses autores o zinco possui mínima mobilidade no floema do cafeeiro.

Em cafeeiros com 55 meses de idade observaram-se acúmulos de 103,0 mg por planta de zinco e conteúdos foliares da ordem de 9,0 a 20,0 mg kg⁻¹ (Martinez *et al.*, 2007). Corrêa *et al.* (2000), avaliando a diagnose nutricional de cafeeiros no sul de Minas Gerais, observaram que 54,7% das lavouras cafeeiras apresentaram teores foliares de zinco abaixo da faixa crítica definida por Malavolta *et al.* (1997), e Andrade *et al.* (2000) verificaram uma ampla variação nos teores foliares de micronutrientes em cafeeiros, valores esses que para o zinco oscilaram de 4,7 a 51,4 mg kg⁻¹ de matéria seca.

As clorofilas são moléculas complexas responsáveis pela absorção de luz, transferência de energia e de elétrons durante o processo fotossintético. Cada uma das rotas de síntese de clorofila é catalisada enzimaticamente, e o zinco é um micronutriente envolvido em reações redox além de

desempenhar importante função na transferência de elétrons e na transformação de energia, sendo, portanto, exigido para síntese de clorofila (Taiz & Zeiger, 2004). Quando ocorre deficiência de zinco há surgimento de clorose, e essa expressão confirma a necessidade do zinco para a síntese de clorofila.

A clorofila está envolvida na fotossíntese, e há relações positivas entre seus teores e os conteúdos de alguns nutrientes nas plantas. Diversos fatores influenciam a intensidade do verde das plantas e, conseqüentemente os valores dos teores de clorofila nas folhas, sendo os principais fatores: genótipo, estágio de crescimento, condições de estresses ambientais como temperatura e déficit hídrico, bem como deficiências nutricionais principalmente N, S, Fe, Zn e Mn (Fontes, 2001).

Sob deficiência de zinco a redução na atividade da enzima dismutase do superóxido (SOD) favorece o incremento dos danos oxidativos, ocasionando a diminuição no teor de clorofila e na atividade fotossintética, sendo a intensidade dos danos proporcional à intensidade luminosa (Marschner, 1995).

Segundo Andrade Netto (2005) os vegetais superiores sintetizam compostos orgânicos a partir da fotossíntese e da absorção da água e de nutrientes minerais do solo ou solução nutritiva, incorporando-os em diversas substâncias como, por exemplos, pigmentos (N e Mg), aminoácidos e proteínas (N e S), parede celular (Ca) e nas enzimas nitrogenase (Mo), SOD (Zn e Cu), redutase do nitrato (Mo) e desidrogenase glutâmica (Cu).

O superóxido (O_2^-) é uma espécie reativa com O_2 , podendo ser muito prejudicial às membranas biológicas. Os superóxidos são passíveis de eliminação pela ação de uma série de enzimas, mas principalmente a SOD, enzima esta responsável por converter radicais superóxidos (O_2^-) em peróxidos de hidrogênio, que então serão convertidos em água pela ação da peroxidases, catalases e ascorbato do nitrogênio (Taiz & Zeiger, 2004). Embora a SOD faça parte do primeiro ajuste da tolerância das plantas ao estresse oxidativo, seu produto, o H_2O_2 , quando acumulado é menos prejudicial que o superóxido, e sua eliminação pode ser realizada tanto por catalases quanto por peroxidases (Asada, 1999).

Os radicais superóxido (O_2^-) não são dissipados, ou são em menor grau em tecidos deficientes em Zn, devido à menor atividade da SOD. Conseqüentemente, pode ocorrer elevação dos processos oxidativos, e esses processos atingem os lipídeos das membranas que sofrem peroxidação, ocorrendo o extravasamento de eletrólitos, isto é, perda de compartimentação celular. Portanto, a clorose e necrose, degradação do AIA e conseqüentemente inibição do crescimento dos brotos novos e dos internódios são conseqüências dos danos oxidativos (Malavolta, 2006).

O zinco é constituinte de diversas enzimas, entre elas a sintase do triptofano (Trp-sintase), a qual é responsável pela produção de triptofano a partir dos compostos indólicos e serina. O triptofano por sua vez é precursor do ácido indol acético (AIA), principal hormônio responsável pelo crescimento das plantas (Marschner 1995; Taiz & Zeiger, 2004). Malta *et al.* (2002) estudando o efeito de Zn na síntese de triptofano, observaram reduções em suas concentrações em folhas de cafeeiros após pulverizações de zinco, demonstrando que o zinco interfere na concentração de triptofano nas plantas por participar de seu metabolismo.

A constatação de quais mecanismos influenciam a diversidade de resposta das variedades quanto ao suprimento de zinco, é de suma importância para que se tenha um completo entendimento da dinâmica do zinco na planta, de forma a auxiliar na identificação das variedades quanto a tolerância à deficiência de zinco. Portanto, o objetivo deste trabalho é entender os mecanismos que influenciam o desenvolvimento de variedades de café arábica sob deficiência de zinco, e quais características químicas e/ou biológicas possuem maior importância na discriminação desta quanto a tolerância ao zinco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Um único experimento foi conduzido no período de fevereiro a outubro de 2007, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em casa de vegetação, modelo capela com cobertura em vidro.

As variedades de café empregadas são relacionadas no quadro 1.

Quadro 1 – Relação das variedades de *Coffea arábica* L. avaliadas.

IDENTIFICAÇÃO	VARIETADES
1	Acaiá Cerrado MG-1474
2	Caturra Amarelo IAC-476
3	Catucaí Vermelho 785-15
4	IPR-102
5	Oeiras MG-6851
6	Paraíso MGH-419-1
7	Rubi MG-1192
8	San Ramon
9	São Bernardo
10	Topázio MG-1190
11	Tupi IAC 1669-33

O experimento constituiu-se de um esquema fatorial 11 x 2 (onze variedades e duas concentrações de zinco), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

As sementes dessas variedades foram germinadas em areia lavada e desinfetada, irrigadas com água desionizada e transplantadas no estágio de folhas cotiledonares para bandejas contendo solução nutritiva de Clark a ¼ de força, onde permaneceram para adaptação até o transplante para vasos de oito litros, os quais receberam solução de Clark modificada com a seguinte composição: N-NO₃⁻ 12,52 mmol L⁻¹; N-NH₄⁺ 0,90 mmol L⁻¹; P-H₂PO₄⁻ 0,069 mmol L⁻¹; K⁺ 1,80 mmol L⁻¹; Ca⁺⁺ 2,629 mmol L⁻¹; Mg⁺⁺ 1,20 mmol L⁻¹; S-SO₄⁻ 2,60 mmol L⁻¹; B 19,0 µmol L⁻¹; Cu 0,50 µmol L⁻¹; Mn 7,00 µmol L⁻¹; Mo 0,086 µmol L⁻¹; Fe 40 µmol L⁻¹ (Martinez, 2002), sendo o zinco

fornecido nas concentrações de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, tratamento 1 e tratamento 2, respectivamente.

As soluções-estoque de cloreto férrico e de macronutrientes foram purificadas segundo Fontes (1986), de modo a se evitar possíveis contaminações por resíduos, como descritas no primeiro capítulo dessa tese.

Cada parcela foi constituída por um vaso de oito litros e duas plantas. A solução foi mantida sob aeração constante, o pH ajustado semanalmente a $5,0 \pm 0,5$ e a troca da solução realizada mediante o critério de 30% de depleção da condutividade elétrica inicial. Foram realizadas quatro trocas, sendo que, a partir da primeira troca acrescentou-se 8,0 mL de Fe-EDTA por vaso, devido ao surgimento de sintomas de deficiência de ferro nas plantas.

Ao final do experimento, todo material vegetal foi lavado em água desionizada e seco em estufa com circulação forçada de ar, a aproximadamente 70 °C, por 72 h, em seguida, moído em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh. Determinaram-se: teores de zinco total (Zn) e ativo (ZnA); índice SPAD; teores de clorofila a (C_a), clorofila b (C_b), clorofila total (C_T), carotenos + xantofilas (C+X) e de compostos indólicos (CI); e atividade da dismutase do superóxido (SOD).

As concentrações de zinco total nas folhas apicais (ZnFA), folhas recém-maduras (ZnFRM), folhas inferiores (ZnFI), caules (ZnC) e raízes (ZnR) foram determinadas em 0,5 g de material após mineralização nitroperclórica e dosagem de Zn por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta *et al.*, 1997).

Determinaram-se também as concentrações de zinco ativo ou solúvel nas folhas apicais (ZnAFA), folhas recém-maduras (ZnAFRM), folhas inferiores (ZnAFI), caules (ZnAC) e raízes (ZnAR), em 0,5 g de material seco e moído, segundo Cakmak & Marschner (1987). As amostras foram submetidas a agitação (41 rpm) durante 5 h em 10 mL de solução tampão de MES 1,0 mM a pH 6,0, em seguida o material foi filtrado em papel de filtragem lenta e a concentração quantificada por espectrofotometria de absorção atômica.

Medidas indiretas dos teores de clorofila foram realizadas (índice SPAD) com o clorofilômetro portátil SPAD-502 [Soil-Plant Analysis Development

(SPAD) Section Minolta Câmera CO. EDT, Japão], nas folhas apicais (SPADFA) e nas folhas recém-maduras (SPADFRM) de cada planta.

Para realização das análises: C_a , C_b , C_T , $C+X$, SOD e CI ao fim do experimento foram coletados discos de aproximadamente, 15 mm de diâmetro, e 0,08 g de matéria fresca, da região central do limbo foliar, no segundo par de folhas recém maduras dos ramos plagiotrópicos, sendo que para determinação dos pigmentos coletaram-se três discos (0,24 g), para SOD três discos (0,24 g) e para CI dois discos (0,16 g). Imediatamente esses discos foram congelados em nitrogênio líquido e posteriormente armazenados a -20°C . Na determinação os discos foliares foram macerados em almofariz com adição de 0,2 g de CaCO_3 , uma pitada de areia lavada e 5 mL de acetona a 80%. O macerado foi filtrado em papel de filtragem rápida e recolhido em balões de 25 mL, envolvidos externamente com papel alumínio. Foi então retirada uma alíquota para cubetas de quartzo com posterior leitura em espectrofotômetro UV-VIS nos comprimentos de onda de 470, 646,8 e 663,2 nm. Tomou-se todo o cuidado para que o material não fosse exposto a luz durante todo o processo, pois a clorofila pode ser degradada sob luz branca. As concentrações dos pigmentos foram então calculadas através das seguintes fórmulas (Lichthenthaler, 1987).

$$\text{Clorofila a} = C_a = 12,25 A_{663,2} - 2,79 A_{646,8}$$

$$\text{Clorofila b} = C_b = 21,50 A_{646,8} - 5,10 A_{663,2}$$

$$\text{Clorofila total} = C_T = 7,15 A_{663,2} + 18,71 A_{646,8}$$

$$\text{Carotenos + Xantofilas} = C+X = (1000 A_{470} - 1,82 C_a - 85,02 C_b)/198$$

A determinação da SOD em folhas de café foi realizada segundo Giannopolitis & Reis (1977). Os discos foliares foram macerados em 2,0 mL de meio de extração em almofariz e pistilos congelados, dentro de câmara fria, e o macerado foi transferido para tubos de centrifuga mantidos em gelo para conservar a temperatura baixa. Realizou-se a centrifugação a 15.000 g, por 15 min, a 4°C , sendo o sobrenadante coletado. Reagitaram-se 3,0 mL de meio de reação com 5 μL do extrato vegetal em tubos de vidro, que, em seguida foram colocados sob luz fluorescente de 15 W por 10 min dentro de uma câmara, em uma sala escura. A leitura foi realizada em

espectrofotômetro a 560 nm transferindo-se uma alíquota de 3,0 mL para cubeta.

Os teores de Cl foram determinados segundo Sacramento (1998), utilizando-se de uma reação com ninidrina. Preparou-se inicialmente o extrato alcoólico. Cada amostra foi colocada em tubos de centrífuga e recebeu 9,0 mL de etanol a 80%, fechados com papel alumínio e levados ao aquecimento em banho-maria a 85° C, por 15 min; em seguida, foram submetidos à centrifugação a 3.250 g, por 5 min; recolheu-se o sobrenadante em balão volumétrico e completou-se o volume para 10 mL. Cinco minutos antes da reação com o extrato preparou-se a solução reagente com 200 mg de ninidrina + 15 mL de etilenoglicol monoetil éter + 5 mL de solução tampão de acetato de sódio pH 4,5 (Morita e Assumpção, 1988) e 0,5 mL de KCN a 0,01 mol L⁻¹. Em seguida, tomou-se 0,5 mL de extrato alcoólico e 0,5 mL de solução reagente em tubos de ensaio, que foram cobertos com papel alumínio e colocados em banho-maria, a 85° C, por 5 min. Logo após, os tubos foram submetidos a banho frio e adicionaram-se 6,0 mL de etanol 95%. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-VIS a 390 nm, utilizando-se das seguintes concentrações para preparo da curva padrão de triptofano: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 mg L⁻¹.

Os dados de concentração de Zn, de ZnA e as medidas indiretas de clorofila (SPAD) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Sobre esses dados realizou-se também o cálculo dos valores relativos ao tratamento com zinco, em todas as variáveis estudadas.

$$\text{Fórmula: } CR = \{(T1 \times 100) / MT2\}$$

Onde: CR = Concentração relativa

T1 = Tratamento com 0,0 μmol L⁻¹ de zinco

MT2 = Média da variedade no tratamento com 6,0 μmol L⁻¹ de Zn

Todos os dados relativos de ZnR, ZnAR e SPADR foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Foi realizado também o desdobramento

das interações independentemente da significância, utilizando-se o método multivariado com base nas variáveis canônicas para identificação e agrupamento das variedades. Sobre os dados de C_a , C_b , C_T , $C+X$, SOD e CI só foram realizados os cálculos de concentração relativa e a atividade relativa para modo de comparação.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (Cruz, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No final do experimento, foram observadas reduções consideráveis nos teores médios de zinco (Zn) em todas as partes da planta avaliadas, quando não houve o fornecimento do mesmo (Quadro 2). Diferenças significativas foram observadas entre os dois tratamentos, dose 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco, em todas as partes da planta. Portanto, os teores de zinco foram influenciados pelo seu fornecimento na solução nutritiva. Zabini *et al.* (2007), estudando a concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros eficientes no uso de zinco, também verificaram reduções nos teores de zinco em todas as partes da planta sob restrição do seu fornecimento. Assim como esses autores, também se observou neste trabalho maiores médias de concentrações de zinco nas raízes na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco, no entanto, as menores médias foram observadas nos caules na dose 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.

Comparando-se os teores foliares de zinco, observa-se que as folhas apicais apresentaram maiores teores médios de zinco (10,53 mg kg^{-1}) que as folhas recém maduras (8,03 mg kg^{-1}) e inferiores (8,88 mg kg^{-1}) quando o cultivo foi realizado na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco. Para esta mesma condição de cultivo, o menor teor de zinco foi observado nos caules, 6,94 mg kg^{-1} (Quadro 2). Em parte estes resultados corroboram com os apresentados por Zabini *et al.* (2007), que verificaram baixa concentração de zinco na folha apical, na folha recém-madura e no caule para a progênie UFV 4066-5 quando cultivada na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco. Os autores também observaram para essas mesmas condições que a progênie Caturra Vermelho 4 manteve maiores concentração de zinco na folha apical e na folha recém-madura.

Quando o fornecimento de zinco foi omitido na solução nutritiva, verificaram-se decréscimos nos teores de ZnFA, ZnFRM, ZnFI, ZnC e ZnR, que representam reduções de 41,91%; 40,82%; 29,86%; 81,25% e 75,65%, respectivamente. A raiz foi o órgão que apresentou a maior média de teor de zinco tanto na dose de 0,0 como na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, 9,597 e 37,853 mg kg^{-1} , respectivamente (Quadro 2). Tais resultados evidenciam que a raiz é o órgão onde ocorre maior acúmulo de zinco, no entanto as

Quadro 2 – Médias dos teores de zinco nas folhas apicais (ZnFA), folhas recém maduras (ZnFRM), folhas inferiores (ZnFI), caules (ZnCAU) e nas raízes (ZnR) de 11 variedades de cafeeiro em resposta às duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$).

VARIEDADES	ZnFA		ZnFRM		ZnFI		ZnCAU		ZnR											
	mg kg ⁻¹																			
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0										
$\mu\text{mol L}^{-1}$																				
Acaia Cerrado	9,90	B	23,37	A	8,00	B	14,48	A	9,15	B	13,20	A	7,08	A	16,57	A	11,58	B	50,10	A
Caturra Amarelo	6,27	B	20,18	A	7,15	B	13,63	A	8,80	B	11,78	A	4,55	B	29,48	A	9,42	B	26,45	A
Catucaí Vermelho	11,58	A	15,10	A	7,55	A	11,65	A	8,70	B	12,43	A	6,88	B	30,95	A	8,90	B	34,45	A
IPR-102	8,32	B	15,88	A	6,97	B	12,47	A	8,75	B	11,82	A	5,52	B	39,40	A	9,13	B	24,82	A
Oeiras	7,62	B	19,70	A	7,92	B	15,82	A	8,58	B	13,20	A	6,28	B	40,92	A	8,33	B	67,33	A
Paraíso	13,62	A	18,50	A	7,67	B	13,67	A	8,47	B	11,63	A	8,98	B	32,40	A	9,32	B	36,92	A
Rubi	10,92	B	20,25	A	8,20	B	16,10	A	8,83	B	16,23	A	6,85	B	48,50	A	9,82	B	46,68	A
San Ramon	11,78	A	15,63	A	8,48	A	12,70	A	9,80	A	10,63	A	9,15	B	55,77	A	9,73	B	28,27	A
São Bernardo	13,13	A	18,23	A	8,62	B	13,00	A	9,27	B	13,07	A	9,08	B	33,45	A	10,48	B	27,98	A
Topázio	9,40	B	17,08	A	6,85	B	13,40	A	10,17	B	13,60	A	6,75	B	33,65	A	9,93	B	38,05	A
Tupi	13,30	A	15,45	A	10,93	A	12,35	A	7,20	B	11,72	A	5,22	B	43,07	A	8,92	B	35,33	A
Média	10,530		18,126		8,030		13,569		8,883		12,665		6,941		37,013		9,597		37,853	
CV (%)	24,020		24,440		8,138		42,326		33,406											

Médias seguidas da mesma não diferem significativamente entre si na linha, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

maiores reduções nos teores de zinco, quando se omitiu seu fornecimento, foram observadas nos caules (81,25%), sugerindo que além de serem órgãos de grande acúmulo de zinco os caules e raízes também são órgãos de reserva capazes de disponibilizar o zinco para as regiões de maior crescimento vegetativo.

Martinez *et al.* (2005), estudando a translocação e compartimentalização de Zn aplicado via foliar nas doses de 0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ em cafeeiros observaram que os teores médios de zinco nas folhas superiores foram maiores que os teores médios nas folhas inferiores, evidenciando o efeito de dreno na região metabolicamente mais ativa. Estes autores também observaram que o caule apresentou-se como local de armazenamento de zinco, mesmo que temporariamente, e não só como local de transporte. Resultado este semelhante ao observado neste trabalho, onde, praticamente todas as variedades apresentaram maiores teores de Zn nas folhas apicais, do que nas folhas recém-maduras e inferiores, em ambos cultivos, com exceção de algumas variedades quando cultivadas sem o fornecimento de zinco.

Quando o cultivo foi realizado na dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco observou-se que os caules e as raízes foram os órgãos com os maiores teores de zinco, 37,01 e 37,85 mg kg^{-1} , respectivamente (Quadro 2). Segundo Franco (1997) e Pearson & Rengel (1994) o caule é o órgão de maior acúmulo de zinco, fato esse explicado pela grande afinidade do Zn^{2+} com as cargas livres dos vasos condutores, além disso, o caule é um importante componente da rota de transporte nas plantas, e esse acúmulo de zinco sugere uma forma de reserva de Zn na planta, podendo ser mobilizado em caso de demanda deste nutriente, fato este observado neste trabalho.

Sob omissão do fornecimento de zinco a concentração de zinco ativo nas diversas partes em que as plantas foram divididas, apresentaram um padrão de variação semelhante ao observado para as concentrações de zinco total (Quadro 3). Observaram-se consideráveis reduções nos teores médios de zinco ativo em todas as partes da planta, quando se forneceu 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn (Quadro 3). Foram observadas diferenças significativas entre as duas doses de zinco, 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, para ZnAFRM, ZnAFI, ZnACAU e ZnAR, mas não houve diferença significativa entre tratamentos para ZnAFA.

Quadro 3 – Médias dos teores de zinco ativo nas folhas apicais (ZnAFA), folhas recém maduras (ZnAFRM), folhas inferiores (ZnAFI), caules (ZnAC) e nas raízes (ZnAR) de 11 variedades de cafeeiro em resposta às duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$).

VARIEDADES	ZnAFA		ZnAFRM		ZnAFI		ZnAC		ZnAR											
	mg kg ⁻¹																			
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0										
	$\mu\text{mol L}^{-1}$																			
Acaiá Cerrado	7,54	A	6,21	A	3,26	A	4,63	A	3,52	A	4,28	A	3,35	A	8,69	A	9,61	B	26,46	A
Caturra Amarelo	7,38	A	6,51	A	4,16	A	5,07	A	3,67	A	5,26	A	3,53	B	14,03	A	13,83	A	19,62	A
Catucaí Vermelho	5,09	A	4,53	A	2,83	A	3,79	A	3,08	B	6,67	A	4,42	B	11,86	A	9,25	B	24,62	A
IPR-102	5,20	A	6,69	A	2,81	A	5,44	A	3,61	A	5,60	A	3,29	B	11,51	A	9,29	A	17,33	A
Oeiras	3,90	A	7,71	A	2,66	B	5,61	A	3,50	A	5,77	A	3,15	B	15,75	A	8,19	B	32,39	A
Paraíso	4,88	A	7,50	A	2,74	B	5,93	A	3,15	B	7,09	A	3,61	B	11,92	A	9,33	B	30,33	A
Rubi	4,12	A	6,11	A	3,21	A	4,66	A	3,24	A	5,09	A	3,21	B	14,72	A	9,08	B	27,36	A
San Ramon	5,71	A	6,62	A	3,31	A	5,82	A	3,26	B	6,20	A	4,38	B	21,47	A	8,61	B	22,37	A
São Bernardo	4,38	A	5,13	A	2,77	A	5,23	A	3,28	B	8,49	A	5,44	B	12,39	A	11,17	A	17,89	A
Topázio	4,19	A	5,43	A	2,22	B	7,59	A	2,73	B	7,62	A	3,76	B	13,29	A	9,39	A	16,41	A
Tupi	7,98	A	7,75	A	4,49	A	5,55	A	3,69	A	5,96	A	3,61	B	16,31	A	8,69	B	20,81	A
Média	5,49		6,38		3,13		5,39		3,34		6,19		3,79		13,82		9,68		23,24	
CV (%)	43,39		38,89		35,48		40,76		35,81											

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Verificou-se nas folhas apicais redução nos teores médios de ZnA de aproximadamente 13,95%, e nas folhas recém-maduras de 41,93%, e nas folhas inferiores de 46,04%, e nos caules de 75,58% e nas raízes de 41,62%, quando não se forneceu zinco (Quadro 3). Observou-se também que as raízes apresentaram os maiores teores médios de ZnA nas duas doses de zinco aplicadas; 9,68 e 23,24 mg kg⁻¹, respectivamente, e os menores teores médios de ZnA foram observados nas folhas recém-maduras, 3,13 e 5,39 mg kg⁻¹.

Os caules e raízes foram os órgãos que apresentaram as menores médias de concentração relativa de zinco, 20,51 e 27,61%, respectivamente. Isso decorre do fato desses órgãos apresentarem os maiores teores de zinco quando cultivados na dose de 6,0 µmol L⁻¹ de Zn e os menores quando cultivado na dose de 0,0 µmol L⁻¹ de Zn. Já nas folhas, as apicais apresentaram os maiores teores médios de Zn mesmo quando o elemento foi omitido, apresentando uma concentração relativa de 58,94% (Quadro 4). O conjunto de dados sugere que caules e raízes sejam locais de compartimentalização do Zn quando o suprimento não é limitado enquanto que as folhas apicais comportam-se como drenos.

Avaliando-se os teores de ZnRFA, ZnRFRM, ZnRFI, ZnRC e raiz ZnRR a variedade Rubi foi a que apresentou as menores concentrações relativas de zinco nas folhas inferiores (54,41%) e caules (13,44%). O que representa reduções de 45,59% e 86,56% nos teores de Zn, respectivamente, além de apresentar concentrações relativas baixas nas folhas apicais (52,26%) e raízes (20,21%), que representam reduções no teor de zinco de 47,74% e 79,69% (Quadro 4). Tais reduções, entretanto, não foram acompanhadas por reduções na produção de matéria seca (Quadros 2, 3 e 7 do Capítulo 1), indicando uma baixa exigência metabólica de Zn. Destaca-se a redução na concentração do elemento em caules e raízes, indicando alocação preferencial em folhas, especialmente nas apicais, quando o suprimento é restrito.

Sob omissão de Zn, a variedade Catucaí Vermelho destacou-se por apresentar as maiores concentrações relativas de zinco nas folhas apicais (85,54%), significando reduções médias de 14,46%, preservando, portanto, maior atividade nas regiões de crescimento ativo. Nas demais partes das

plantas que foram avaliadas houve decréscimos na concentração relativa, que assim como na variedade Rubi, não foram acompanhados por reduções na produção de matéria seca (Quadros 2, 3 e 7 do Capítulo 1). A concentração média relativa de ZnRFRM foi de 64,81%, de ZnRFI de 69,98% e de ZnRC de 24,39%, que representam reduções médias de 35,19%, 30,02% e 75,61%, respectivamente (Quadro 4).

Quadro 4 – Médias das concentrações relativas de zinco nas folhas apicais (ZnRFA), folhas recém maduras (ZnRFRM) folhas inferiores (ZnRFI), nos caules (ZnRC) e raízes (ZnRR) nas onze variedades de cafeeiro estudadas.

VARIEDADES	ZINCO (%)				
	ZnRFA	ZnRFRM	ZnRFI	ZnRC	ZnRR
Acaíá Cerrado	42,37 bc	55,24 a	69,32 bcd	37,90 a	23,32 b
Caturra Amarelo	29,40 c	52,45 a	74,68 bc	15,44 e	35,98 a
Catucaí Vermelho	85,54 a	64,81 a	69,98 bcd	24,39 bcd	26,47 b
IPR-102	52,36 abc	55,88 a	74,05 bc	14,00 e	36,80 a
Oeiras	38,66 c	50,05 a	65,03 cd	14,95 e	12,38 c
Paraíso	64,59 abc	53,66 a	72,78 bc	27,72 bc	25,24 b
Rubi	52,26 abc	55,07 a	54,41 e	13,44 e	20,31 b
San Ramon	75,37 ab	66,79 a	92,16 a	16,41 de	34,43 a
São Bernardo	77,52 ab	66,28 a	70,92 bcd	29,15 b	37,46 a
Topázio	55,02 abc	51,12 a	77,21 b	20,06 cde	26,11 b
Tupi	75,29 ab	50,74 a	61,45 de	12,11 e	25,23 b
Média	58,94	56,55	71,09	20,51	27,61
CV (%)	31,21	15,49	7,96	23,66	13,79

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

As variedades Paraíso e São Bernardo mostraram concentrações relativas medianas de zinco nas diversas partes em que foram divididas (Quadro 4), que foram suficientes para restringir a produção de matéria seca, confirmando a baixa eficiência em absorver zinco e maior exigência metabólica de Zn (Capítulo 1 e 2).

Os caules e raízes foram os órgãos que apresentaram as menores médias de concentrações relativas de zinco ativo, 28,87 e 42,87%, respectivamente, que representam as maiores reduções quando o cultivo foi na dose de 0,0

$\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn (Quadro 5). Em relação à concentração relativa de zinco ativo, as folhas apicais apresentaram mais altos teores relativos médios (74,93%), que as folhas recém-maduras (59,25%) e inferiores (55,58%). Estes resultados evidenciam que, quando o suprimento de zinco é restrito, há maior retranslocação de zinco ativo dos caules e raízes para as folhas apicais, por serem os órgãos metabolicamente mais ativos da planta.

Quadro 5 – Médias das concentrações relativas dos teores de zinco ativo nas folhas apicais (ZnARFA), folhas recém maduras (ZnARFRM), folhas inferiores (ZnARFI), caules (ZnARC) e raízes (ZnARR) nas onze variedades de cafeeiro estudadas.

VARIEDADES	ZINCO ATIVO (%)				
	ZNARFA	ZnARFRM	ZnARFI	ZnARC	ZnARR
Acaíá Cerrado	99,98 a	70,26 abc	82,34 a	40,05 a	33,79 bc
Caturra Amarelo	72,24 bcd	78,05 ab	69,86 ab	24,44 cd	63,69 a
Catucaí Vermelho	93,59 ab	72,86 abc	46,22 defg	37,27 ab	37,55 b
IPR-102	67,69 bcd	51,62 bcd	58,54 bcde	28,58 bcd	52,82 a
Oeiras	50,63 d	47,42 cd	60,66 bcd	19,96 d	23,35 c
Paraíso	69,55 bcd	46,18 cd	44,34 efg	30,23 bc	30,77 bc
Rubi	67,52 bcd	79,03 a	62,13 bc	21,80 cd	34,41 bc
San Ramon	86,22 abc	55,17 abcd	52,63 cdef	20,42 d	38,47 b
São Bernardo	81,46 abc	53,06 abcd	38,66 fg	44,41 a	58,69 a
Topázio	70,97 bcd	29,21 d	35,88 g	28,28 cd	57,22 a
Tupi	64,32 cd	68,87abc	60,11 bcd	22,16 cd	40,83 b
Média	74,93	59,25	55,58	28,87	42,87
CV (%)	19,02	23,49	14,71	16,94	15,95

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, na coluna, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Avaliando-se as concentrações de ZnARFA, ZnARFI e ZnARC observou-se que a variedade Acaíá Cerrado apresentou os maiores valores para essas partes da planta, 99,98%, 82,34% e 40,05%, respectivamente. Além de apresentar consideráveis concentrações de ZnARFRM (70,26%) e ZnARR (33,79%). Tais resultados evidenciam que quando cultivada na ausência de

zinco, aquela variedade apresentou os maiores teores de zinco ativo nas folhas apicais, folhas inferiores e caules (Quadro 5).

A variedade Oeiras apresentou as menores concentrações relativas de ZnARFA (50,63%), ZnARC (19,96%) e ZnARR (23,35%), estes valores representam as maiores reduções nos teores de ZnA quando a mesma foi cultivada na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, evidenciando menores teores de zinco ativo nas folhas apicais, caules e raízes (Quadro 5).

Para a concentração de ZnARFRM verificou-se que a variedade Rubi apresentou a maior concentração relativa (79,03%) e a variedade Topázio a menor concentração relativa (29,21%) (Quadro 5).

Nas folhas inferiores verifica-se que a variedade São Bernardo apresentou a menor concentração relativa de zinco ativo (38,66%), o que representa uma redução média de 61,34% quando cultivada na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco (Quadro 5).

As variedades Caturra Amarelo e Oeiras apresentaram respectivamente as maiores (63,69%) e menores (23,35%) concentrações relativas de zinco ativo nas raízes, que correspondem a reduções médias respectivas de 36,31% e 76,65%, quando cultivadas com omissão do fornecimento de zinco (Quadro 5).

Nas folhas recém maduras não foram observadas diferenças significativas entre os dois tratamentos em relação ao índice SPAD, mas as folhas apicais das plantas cultivadas na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco apresentaram coloração verde mais intensa do que as cultivadas na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco (Quadro 6). Avaliando-se o SPADRFA, observou-se uma considerável redução (-34,69%), quando as plantas foram cultivadas na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco (Quadro 7).

Para o índice SPAD nas folhas apicais observaram-se para as variedades Rubi e San Ramon as maiores médias (39,13 e 38,77, respectivamente), e estas só diferiram estatisticamente da variedade Caturra Amarelo, que foi a que apresentou a menor média (28,13), quando cultivadas na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco. Na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco não foram observadas diferenças significativas entre as variedades estudadas (Quadro 6).

Nas folhas recém maduras o maior índice SPAD médio foi observado para a variedade San Ramon (80,93), e os menores para as variedades

Topázio (70,90), Acaiá Cerrado (71,47) e IPR-102 (71,47), sendo que estas não apresentaram diferenças significativas entre si, e só apresentaram diferenças significativas com a variedade San Ramon (Quadro 6).

Avaliando-se SPADRFA e SPADRFRM, verifica-se que para o SPADRFA, não houve diferenças significativas entre as variedades estudadas. Para o SPADRFRM verifica-se que a variedade IPR-102 apresentou o maior valor (107,51%), o que representa um incremento de 7,51% quando esta variedade foi cultivada na dose de 0,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn e que esta variedade só se diferiu estatisticamente da variedade São Bernardo, que foi a que apresentou o menor SPADRFRM (93,25%), que representa redução média de 6,75% (Quadro 7).

Quadro 6 – Médias do índice SPAD nas folhas apicais (SPADFA) e nas folhas recém-maduras (SPADRFRM), nas 11 variedades de cafeeiro em resposta às duas doses de zinco (0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$).

VARIEDADES	SPADFA		SPADRFRM	
	0,0	6,0	0,0	6,0
$\mu\text{mol L}^{-1}$				
Acaiá Cerrado	34,28 B	51,77 A	74,00 A	71,47 A
Caturra Amarelo	28,13 B	50,25 A	76,47 A	73,85 A
Catucaí Vermelho	34,77 B	57,80 A	76,97 A	76,75 A
IPR-102	35,20 B	52,90 A	76,83 A	71,47 A
Oeiras	30,83 B	50,83 A	71,23 A	72,70 A
Paraíso	36,30 B	52,97 A	76,93 A	78,67 A
Rubi	39,13 B	51,73 A	78,20 A	76,77 A
San Ramon	38,77 B	55,67 A	76,17 A	80,93 A
São Bernardo	32,67 B	54,67 A	67,73 A	72,63 A
Topázio	35,90 B	52,07 A	73,60 A	70,90 A
Tupi	36,00 B	54,30 A	80,00 A	78,23 A
Média	34,73	53,18	75,28	74,94
CV (%)	11,71		5,74	

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, entre linhas, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Observa-se neste trabalho elevada relação entre as leituras indiretas de clorofila, realizadas no medidor portátil SPAD, e os teores de clorofilas, visto que os maiores índices SPAD relativos apresentados nas folha apicais para

as variedades Paraíso, Rubi e Tupi coincidem com as maiores concentrações relativas de C_a , C_b , C_T e $C+X$ apresentadas também por estas variedades (Quadros 7 e 8).

Quadro 7 – Médias dos índice SPAD relativos nas folhas apicais (SPADRFA) e nas folhas recém-maduras (SPADRFRM), nas onze variedades estudadas.

VARIEDADES	ÍNDICE SPAD (%)	
	SPADRFA	SPADRFRM
Acaí Cerrado	66,23 a	103,54 ab
Caturra Amarelo	55,99 a	103,54 ab
Catucaí Vermelho	60,15 a	100,28 ab
IPR-102	66,54 a	107,51 a
Oeiras	60,65 a	97,98 ab
Paraíso	68,53 a	97,79 ab
Rubi	75,65 a	101,87 ab
San Ramon	69,64 a	94,11 ab
São Bernardo	59,75 a	93,25 b
Topázio	68,95 a	103,81 ab
Tupi	66,29 a	102,26 ab
Média	65,31	100,54
CV (%)	18,91	7,06

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si, na coluna, pelo Teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Avaliando-se as concentrações relativas de C_a , C_b , C_T e $C+X$, observa-se que a variedade Rubi apresentou as maiores concentrações relativas de C_a (86,69%), C_b (91,44%) e de C_T (88,34%), valores esses que representam as menores reduções de C_a (-13,31%), C_b (-8,26%) e C_T (-11,66%) quando esta foi cultivada sem o fornecimento de zinco, além de apresentar uma baixa concentração relativa de $C+X$ (-13,72) (Quadro 8).

A variedade Catucaí Vermelho apresentou baixas concentrações relativas de C_a , C_b , C_T e $C+X$ na ordem de 18,74%, 22,18%, 19,40% e 24,56%, que representam reduções médias de 81,56%; 77,82%; 80,60% e 75,44%; respectivamente, quando o Zn não foi fornecido (Quadro 8).

A variedade Paraíso apresentou consideráveis reduções de C_a , C_b , C_T e $C+X$ na ordem de 24,02%; 13,94%; 21,02% e 7,37%; respectivamente, devido a ter apresentado as concentrações relativas de 75,96%, 86,06%, 78,98% e de 92,63% nas respectivas variáveis (Quadro 8).

Quadro 8 – Médias das concentrações relativas dos teores de clorofila a (C_a), clorofila b (C_b), clorofila total (C_T) e caroteno + xantofila ($C+X$) nas folhas recém maduras de onze variedades de cafeeiro em resposta à omissão de zinco.

VARIETADES	C_a	C_b	C_T	$C+X$
	%			
1. Acaíá Cerrado	46,43	58,25	50,11	55,12
2. Caturra Amarelo	22,21	25,83	23,43	31,24
3. Catucaí Vermelho	18,74	22,18	19,40	24,56
4. IPR-102	36,88	40,12	37,89	48,74
5. Oeiras	41,67	37,26	39,99	63,31
6. Paraíso	75,96	86,06	78,98	92,63
7. Rubi	86,69	91,44	88,34	86,28
8. San Ramon	53,38	32,48	46,39	71,29
9. São Bernardo	36,55	22,17	30,98	48,13
10. Topázio	51,32	57,26	53,09	54,49
11. Tupi	73,69	51,14	65,66	84,47

Zabini *et al.* (2007) observaram que a progênie UFV 4066-5 apresentou as menores médias para os teores de clorofila a (C_a), clorofila b (C_b), clorofila total (C_{a+b}) e xantofilas + carotenos ($X+C$), e que a progênie Caturra Vermelho 4 apresentou os maiores teores médios de C_a , C_b , C_{a+b} e $X+C$ quando o fornecimento de zinco foi omitido. Estes mesmos autores também verificaram que as progênies UFV 4066-5, UFV 4066-3 e IAC 4376-5 apresentaram reduções percentuais consideráveis nos teores dos pigmentos (C_a , C_b , C_{a+b} e $C+X$) quando houve restrição no fornecimento de zinco, e para as mesmas condições incrementos significativos para a progênie Caturra Vermelho 4.

A Variedade São Bernardo apresentou elevadas concentrações relativas de C_a (36,55%), C_b (22,17%), C_T (30,98%) e $C+X$ (48,13%), que representam

reduções de C_a , C_b , C_T e $C+X$ na ordem de 63,45%; 77,83%; 69,02% e 51,87%; respectivamente (Quadro 8).

Zabini (2004) observou, na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, que provavelmente os incrementos percentuais nos teores de clorofilas e xantofilas + caroteno estão associados aos maiores teores de zinco, ferro, cobre e manganês nas folhas apicais e recém-maduras. Assim como, o observado neste trabalho em que as maiores concentrações relativas de C_a , C_b , C_T e $C+X$ também estão associadas aos maiores teores de zinco nas folhas apicais e recém-maduras, quando se omitiu o fornecimento de zinco.

Segundo Marschner (1995), a redução no teor de clorofila pode ocorrer devido ao incremento nos danos oxidativos, os quais se devem à redução na atividade da SOD sob deficiência de zinco. A redução da fotossíntese pode também ser devido ao excesso de zinco, que ocasiona a redução na atividade da RuBP carboxilase/oxigenase (Rubisco) pela competição entre o Zn e o Mg no sítio ativo da Rubisco. Neste trabalho foram observadas coloração verde-amarelada nas plantas deficientes em zinco, fato este que pode ter ocorrido devido ao aumento dos danos oxidativos.

Quando o fornecimento de zinco foi omitido na solução nutritiva observaram-se reduções consideráveis na atividade relativa da SOD em todas as variedades avaliadas. As variedades Rubi, Topázio e Tupi foram as que apresentaram as menores atividades relativas da SOD, 33,22%; 22,54% e 34,28%, respectivamente. As maiores atividades relativas da SOD foram observadas para as variedades Acaiá Cerrado (89,79%), Oeiras (78,73%), San Ramon (68,44%) e Catucaí Vermelho (68,13%). As demais variedades apresentaram valores medianos na atividade relativa da SOD (Quadro 9).

Avaliando-se a concentração relativa de compostos indólicos (CIR) verificou-se que quase todas as variedades estudadas apresentaram elevados CIR quando não houve fornecimento de zinco (Quadro 9), com exceção para a variedade Topázio (98,05%) e Tupi (101,01%). Tal comportamento também foi observado por Zabini *et.al.* (2007), que verificaram que sob omissão de Zn, somente uma progênie (UFV 4066-5) apresentou redução percentual no teor de Cl, enquanto as demais progênies incrementaram esta característica. A progênie Caturra Vermelho 4 apresentou a maior média de concentração de compostos indólicos quando o fornecimento de zinco foi restringido, no

entanto, a progênie UFV 4066-5 apresentou maior média de compostos indólicos quando cultivada na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco. Segundo Taiz & Zeiger (2004), os compostos indólicos estão envolvidos na síntese de AIA, hormônio responsável pelo crescimento das plantas.

Quadro 9 – Médias da atividade relativa da dismutase do superóxido (SODR) e da concentração relativa de compostos indólicos (CIR) nas folhas-recém maduras de onze variedades em resposta à omissão de zinco.

VARIEDADES	SODR	CIR
	%	
1. Acaiá Cerrado	89,79	136,94
2. Caturra Amarelo	60,07	118,54
3. Catucaí Vermelho	68,13	129,74
4. IPR-102	59,00	168,73
5. Oeiras	78,73	107,72
6. Paraíso	54,10	194,12
7. Rubi	33,22	137,81
8. San Ramon	68,44	129,77
9. São Bernardo	58,03	126,29
10. Topázio	22,54	98,05
11. Tupi	34,28	101,01

Provavelmente os baixos teores de zinco e as concentrações relativas de clorofila, apresentados pela variedade Topázio, quando o zinco foi omitido, sejam responsáveis pela redução na síntese de proteínas e, conseqüentemente, pelo acúmulo de tripatofano, principal precursor da síntese de AIA, proporcionando assim um consumo de compostos indólicos.

Neste trabalho, observa-se que a variedade Paraíso foi a que apresentou o maior concentração de CIR quando não houve fornecimento de zinco, 194,12%, sendo que a variedade IPR-102 também apresentou elevado CIR. As variedades Acaiá Cerrado, Caturra Amarelo, Catucaí Vermelho, Rubi, San Ramon e São Bernardo apresentaram concentrações de CIR semelhantes (Quadro 9).

Pressume-se que na variedade IPR-102 os elevados teores de zinco, principalmente nas folhas apicais, recém-maduras e nos caules, e as elevadas concentrações de clorofila, quando o fornecimento de zinco foi omitido, estejam associados ao intenso metabolismo, ocasionando a elevada produção de compostos indólicos, provenientes dos esqueletos carbônicos produzidos pela intensa atividade fotossintética.

O agrupamento das 11 variedades de cafeeiro obtidos pelo método de Tocher em função das concentrações relativas de zinco, zinco ativo e índice SPAD na planta estão representados no Quadro 10. A análise dos dados resultou na formação de seis grupos, sendo que o grupo I reuniu as variedades Rubi e Tupi; o grupo II as variedades Catucaí Vermelho, Paraíso, San Ramon e Topázio; o grupo III as variedades Caturra Amarelo e IPR-102; os grupos IV, V e VI as variedades São Bernardo, Acaíá Cerrado e Oeiras, respectivamente.

Quando não houve fornecimento de zinco na solução nutritiva a variedade Oeiras, pertencente ao grupo V, apresentou as menores concentrações de ZnRFA (38,66%), ZnRFRM (50,05%), ZnRR (12,38%), ZnARFA (50,63%), ZnARFRM (47,42%), ZnARC (19,96%) e ZnARR (23,35%). A mesma variedade ainda apresentou baixas concentrações de ZnRFI (65,03%), ZnRC (14,95%), ZnARFI (60,66%), SPADRFA (60,65%) e SPADRFRM (97,98%) quando comparada com as demais variedades estudadas (Quadro 10). O comportamento desta variedade quando se omitiu o fornecimento de zinco, indica que apesar da elevada eficiência em absorver zinco esta apresentou uma baixa eficiência de utilização do mesmo, evidenciando sua moderada tolerância à deficiência de zinco, e justificando o elevado acúmulo na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Capítulos 1 e 2).

A variedade São Bernardo, pertencente ao grupo IV, apresentou as maiores concentrações de ZnRFA (77,52%), ZnRFRM (66,28%), ZnRR (37,46%), ZnARC (44,41%) e ZnARR (58,69%), mas também apresentou as menores concentrações de ZnARFI (38,66%), SPADRFA (59,75%) e SPADRFRM (93,25%). Apesar de ter apresentado uma moderada eficiência em absorver zinco, esta variedade não foi eficiente em utilizá-lo, pois quando, o fornecimento de zinco foi omitido sua produção de matéria seca foi

severamente prejudicada, comportamento este que evidencia a uma baixa tolerância a deficiência de zinco(Capítulos 1 e 2).

Quadro 10 – Agrupamento pelo método de Tocher de onze variedades de cafeeiros, com base na Distância Generalizada de Mahalanobis, em função do das concentrações relativas causadas pela deficiência de zinco em doze variáveis, sendo cinco variáveis de concentração de zinco (ZnRFA, ZnRFRM, ZnRFI, ZnRC e ZnRR); cinco de concentração de zinco ativo (ZnARFA, ZnARFRM, ZnARFI, ZnARC e ZnARR) e duas de índice SPADR (SPADRFA e SPADRFRM).

VARIÁVEIS	GRUPOS					
	I	II	III	IV	V	VI
	VARIEDADES					
	7, 11	3, 6, 8 10	2, 4	9	1	5
ZnRFA	63,78	70,13	40,88	77,52	42,37	38,66
ZnRFRM	52,91	59,09	54,17	66,28	55,24	50,05
ZnRFI	57,93	78,03	74,77	70,92	69,32	65,03
ZnRC	12,77	22,15	14,72	29,15	37,90	14,95
ZnRR	22,77	28,06	36,39	37,46	23,32	12,38
ZnARFA	65,92	80,08	69,97	81,46	99,99	50,63
ZnARFRM	73,95	50,86	64,83	53,06	70,26	47,42
ZnARFI	61,12	44,77	64,20	38,66	82,34	60,66
ZnARC	21,98	29,05	26,51	44,41	40,05	19,96
ZnARR	37,62	41,01	58,26	58,69	33,79	23,35
SPADRFA	70,97	66,82	61,27	59,75	66,23	60,65
SPADRFRM	102,06	99,00	105,53	93,25	103,54	97,98

* 1 Acaíá Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio e 11 Tupi.

No grupo V observa-se que a variedade Acaíá Cerrado apresentou as maiores concentrações de ZnRC (37,90%), ZnARFA (99,99%) e de ZnARFI (82,34%), para as demais variáveis avaliadas essa variedade apresentou um comportamento mediano. Tais resultados demonstram que apesar da alta eficiência em absorver zinco, esta variedade não foi capaz de manter sua produção de matéria seca, conseqüentemente apresentou uma baixa eficiência de utilização do elemento, o que a caracterizou como medianamente exigente em zinco (Capítulos 1 e 2).

As variedades, agrupadas no grupo III, Caturra Amarelo e IPR-102, apresentaram o maior SPADRFM (105,53%), no entanto estas variedades apresentaram baixos valores de ZnRFA (40,88%), ZnRC (14,72%) e SPADRFA (61,27%); e elevados valores de ZnRFI (74,77%), ZnRR (36,39%) e ZnARR (58,26%), quando comparadas com as médias dos demais agrupamentos formados (Quadro 10). No entanto, a variedade IPR-102 apesar de ter apresentado reduções consideráveis nos teores de zinco, não teve seu crescimento prejudicado. Tal comportamento decorre de sua alta eficiência de utilização de zinco (Capítulos 1 e 2).

As variedades do grupo II apresentaram comportamentos semelhantes entre si e as concentrações relativas apresentadas indicam uma tolerância mediana à deficiência de zinco. As variedades deste agrupamento (Catucaí Vermelho, Paraíso, San Ramon, e Topázio) apresentaram a maior concentração de ZnRFI (78,03%), além de terem apresentado elevadas concentrações de ZnRFA (70,13%), ZnRFM (59,09%), ZnARFA (80,08%) e SPADRFA (66,82%) quando comparadas com as médias dos demais agrupamentos (Quadro 10). Estes resultados demonstram que estas variedades mantiveram elevadas concentrações de zinco nas regiões meristemáticas e em folhas ativas metabolicamente, no entanto apresentaram baixa eficiência de utilização do nutriente, e conseqüentemente crescimento prejudicado.

A variedade Rubi e Tupi, formadoras do grupo I, foram as que apresentaram as maiores concentrações de ZnARFM (73,95%) e SPADRFA (70,97%). Paralelamente, essas variedades foram as que apresentaram as menores concentrações ZnRFI (57,93%) e de ZnRC (12,77%) (Quadro 10). A variedade Rubi apesar de ter apresentado uma moderada eficiência em absorver zinco, nas duas doses 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, apresentou uma alta eficiência de utilização do nutriente, quando o zinco foi omitido na solução, o que confirma sua alta tolerância à deficiência de zinco. No entanto, apresentou uma baixa eficiência de utilização de zinco quando se forneceu 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, o que demonstra que talvez esta dose tenha sido excessiva para esta variedade (Capítulos 1 e 2).

Nos quadros de 2, 3 e 6 verifica-se uma grande variabilidade entre as variedades estudadas para teor de zinco, teor de zinco ativo e índice SPAD,

nas partes avaliadas da planta. A interpretação dos resultados baseando-se somente na análise estatística simples torna-se restritiva, devido ao grande número de variáveis estudadas, dificultando desta forma a discriminação do comportamento de determinada variedade e da definição da importância das características estudadas nessa distinção. Por essa razão, submeteram-se os dados à análise estatística multivariada com o objetivo de identificar quais variáveis melhor expressam o comportamento das variedades de café mais semelhantes em relação ao fornecimento de zinco.

A Figura 1 exibe a dispersão gráfica das variedades no plano bidimensional, envolvendo a primeira e a segunda variáveis canônicas, as quais acumularam 76,27% da variação total disponível. Observa-se, claramente, o distanciamento entre os grupos de variedades, e a proximidade entre as variedades dentro dos grupos I, II e III, confirmando a eficácia do método de discriminação destas variedades, conforme caracterizado na análise de agrupamento pelo método de Tocher (Quadro 10).

As concentrações relativas de zinco total na planta representaram a maior importância relativa para divergência entre as variedades, enquanto o índice SPAD apresentou a menor importância relativa.

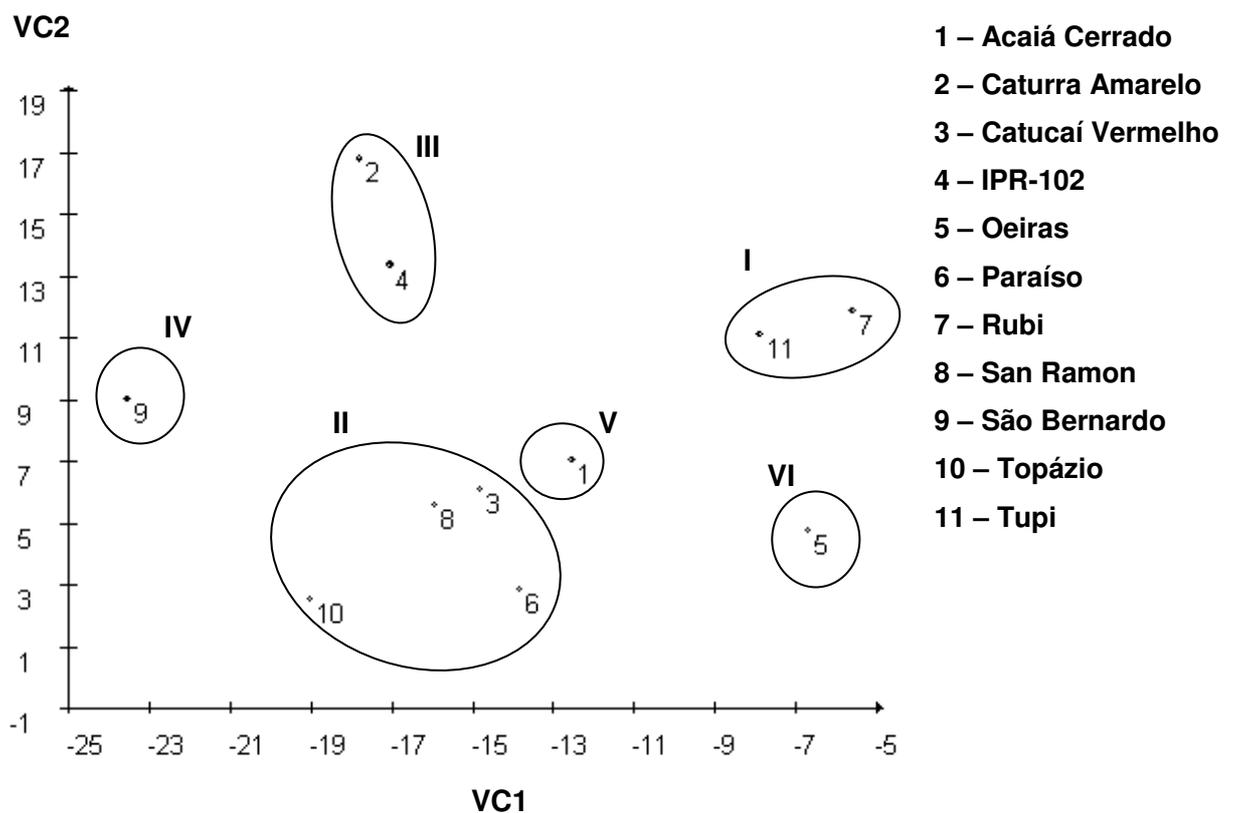


Figura 1. Dispersão gráfica de 11 variedades de cafeeiro em relação à primeira (VC1) e segunda (VC2) variáveis canônicas, obtidas com base em 12 variáveis relativas, sendo cinco de zinco (ZnRFA, ZnRFRM, ZnRFI, ZnRC e ZnRR); cinco de zinco ativo (ZnARFA, ZnARFRM, ZnARFI, ZnARC e ZnARR) e duas de SPAD (SPADRFA e SPADRFRM).

4. CONCLUSÕES

Os caules e raízes comportaram-se como órgãos de reserva capazes de disponibilizar o zinco para as regiões de crescimento vegetativo intenso.

Os principais mecanismos que influenciaram a tolerância diferencial a deficiência de zinco foram absorção pelas raízes e sua translocações pelos caules e raízes.

As concentrações relativas de Zn total na planta foram a característica de maior importância para a discriminação de material tolerante.

CONCLUSÕES GERAIS

A concentração de zinco fornecida influenciou a produção de matéria seca em todas as partes avaliadas, mas principalmente nas folhas apicais, havendo variabilidade de resposta entre as variedades estudadas.

A variedade São Bernardo demonstrou ser menos tolerante a baixas doses de zinco que a variedade San Ramon. Ambas foram menos tolerantes que as demais variedades ao baixo suprimento do elemento, e apresentaram baixa eficiência de utilização de zinco, nas duas doses de zinco estudadas.

As variedades IPR-102 e Rubi são mais tolerantes ao baixo zinco, e demonstraram ter o crescimento prejudicado na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, que se mostra adequada às demais variedades, sendo, a IPR-102 altamente eficiente no uso de zinco, nas duas doses estudadas. Já a Rubi apresentou alta eficiência de utilização do nutriente na dose de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, e baixa eficiência de utilização na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, evidenciando a fitotoxidez desta dose a esta variedade.

As demais variedades são medianamente tolerantes ao baixo zinco. No entanto a variedade Oeiras apresentou baixa eficiência de utilização de zinco, quando cultivada na dose de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, e as demais demonstraram ser moderadamente eficientes no uso de zinco, nas duas doses estudadas.

Os caules e raízes comportaram-se como órgãos de reserva capazes de disponibilizar o zinco para as regiões de maior crescimento vegetativo.

Os principais mecanismos que influenciaram a tolerância diferencial a deficiência de zinco foram absorção pelas raízes e sua translocações pelos caules e raízes.

As concentrações relativas de Zn total na planta foram a característica de maior importância para a discriminação de material tolerante.

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, 63: 36-39, 1971.
- Agrarianual 2008. Anuário da agricultura brasileira. AgraFNP. Instituto iFNP.
- Ahmad, Z.; Gill, M. A.; Qureshi, R. H. Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops. **Journal Plant Nutrition**. 24:8, p. 1149-1171, 2001.
- Amaral, J.F.T. **Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa 2002. 97 p. (Dissertação: Doutorado).
- Amaral, A.S.; 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, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro MARA, PROCAFÉ, PNFC, 1997. P. 28-30.
- Andrade Netto, J.F. de. **Atividade das enzimas redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo, 2005. 74p. (Dissertação: Mestrado em Fitotecnia).
- Andrade, W.E.B.; Nascimento, D.; Alves, S.M.C.; Engelhardt, M.A.; LAU, R.R.; Gonçalves Jr. E.; Santos, D.J.B.; Soares, J.A.; Santos, J.G.C. Estado nutricional de cafezais da região Noroeste Fluminense em função do ano de amostragem. II - Micronutrientes. **In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 26º, Marília, SP. 2000. Rio de Janeiro: Mapa/Procafé. p. 203-204.**
- Asada, K. The water eye in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto. v. 50, p. 601-639, 1999.
- Baligar, V.C.; Fageria, N.K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: Siqueira, J.O. *et al.* (Ed.). Inter-relação fertilidade, biologia do

- solo e nutrição de plantas. Lavras, **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**. 1998 p.183 – 204.
- Blair, G. Nutrient efficiency – what do really mean. In Randall, P.J.; Delhaize, E.; Richards, R.A.; Munns, R. (Ed.) **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic publishers, 1993. p. 205-213.
- Cakmak, I.; Marschner, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. **Physiology Plantarum**, v. 70, p. 13-20, 1987.
- Corrêa, J.B.; REIS Jr., R. A.; Carvalho, J.G.; Guimaraes, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. safra 99/00. II - Micronutrientes. **In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 26º**, Marília, SP. 2000. Rio de Janeiro: Mapa/Procafé. p. 106-107.
- Cruz, C.D. **Programa GENES**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 1997. 442p.
- Cruz, C.D. **Programa GENES**: Análise multivariada e simulação. Viçosa: Editora UFV, 2006. 175p.
- Dantas, J. D. Micronutrientes no solo – Boro. In: Ferreira, M.E. & Cruz, M. C. P. da. (eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, p. 113 – 125 1991.
- Dechen, A. R.; Haag, H. P.; & Carmelo, Q. A. C. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: Ferreira, M.E. & Cruz, M. C. P. da. (eds.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos, p. 79 – 96, 1991.
- Epstein, M. **Nutrição Mineral das Plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo/Rio de Janeiro, Ed. da Universidade de São Paulo e Livros Tec. e Cient. Editora, 341 p., 1975.
- Epstein, E; Bloom, A.J. **Nutrição Mineral das Plantas: princípios e perspectivas**. 2ª Ed. Editora: Planta, 403 p., 2006.
- Fageria, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2:6-16, 1998.
- Fageria, N.K.; V.C. Baligar & R.B. Clark. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**. 77: 185 – 268, 2002.

- Favaro, J.R.A. **Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta à nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio.** Viçosa – Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1992, 91p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- Fernades, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.
- Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. da. **Micronutrientes na agricultura.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1991. 734 p.
- Fontes, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas.** Viçosa, UFV, 1122p, 2001.
- Fontes, R. L. F. **Purificação de soluções nutritivas para indução de deficiência de zinco e cobre em plantas.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.1986. 55 p. (Dissertação: Doutorado em Fitotecnia).
- Foy, C.D.; Chaney, R.L.; White, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Rev. Plan. Physiology**, v. 29, p. 511-566, 1978.
- Franco, I.A. de L. **Translocação e compartimentalização de Zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.1997. 55 p. (Dissertação: Doutorado em Fitotecnia).
- Franco, I.A. de L.; Martinez, H. E. P.; Zabini, A.V.; Fontes, P. C. R. Translocação e compartimentalização de Zn aplicado via ZnSO₄ e ZnEDTA nas folhas de cafeeiro e feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.332-339, 2005.
- Galbeman, W. H. & Gerloff, G. C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant Soil**, 72:335-350, 1983.
- Gallo, J. R.; Hiroce, R.; Bataglia, O. C.; Moraes, F. R. P. Levantamento de cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar: II. Solos Podzolizados de Lins e Marília, Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho-Amarelo orto. **Bragantia**, v.29, p.237-247, 1970.
- Garcia, A. W. R.; Correa, J. B.; Freire, A. C. F. Levantamento das características químicas dos solos e estado nutricional das lavouras cafeeiras do sul e Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS

- CAFEEIRAS, 10. Poços de Caldas, 1983. **Anais**. Rio de Janeiro: IBC/Gerca, 1983. p.5-8.
- Giannopolitis, G.N.; Reis, S.K. 1977 Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**: 59, 309 – 314.
- Glass, A. D. M. **Plant nutrition: an introduction to current concepts**. Boston. Jones and Bartlett Publishers, 1989. 234p.
- Guimarães, P.T.G.; Carvalho, J.C.; Melles, C.C.A.; Malavolta, E. In Estudos sobre nutrição mineral do cafeeiro, 38. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de zinco na produção e na composição mineral das folhas de cafeeiro. (*Coffea arábica* L.) Piracicaba: **Anais**: Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, v. 40, p. 497-507, 1983.
- Li, B.; S. E., Mckeand & H. L., Allen. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, 37 (2): 613-626, 1991.
- Lichtenthaler, H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methodos in enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- Lima Filho, O.F.; Malavolta, E. Evaluation of extraction procedures on determination of critical soil and foliar levels of boron and zinc in coffee plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v. 29, n. 7-8, p. 825-833, 1998.
- Lima, P.C.; Salgado, L.T.; Moura, W.M.; Penna, B.A.S.; Seiji, H.; Lima, W.A.A.; Freitas, M.A.S. Resposta da formação de cafezal sob sistema de plantio adensado à adubação com zinco na zona da mata de Minas Gerais. IV Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil. **Resumos** (Londrina - PR) CD-ROM. 2 a 5 maio, 2005.
- Loneragan, J. F.; Kirk, G. J. & Webb, M. J. Translocation and function of zinc in roots. **Journal of Plant Nutrition**, 10:1247-1254, 1987.
- Malavolta, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Ceres, São Paulo. 1980.
- Malavolta, E. Nutrição, adubação e calagem para cafeeiro. In: Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. (Ed.) **Cultura do Cafeeiro** – fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 165 – 274.
- Malavolta, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

- Malavolta, E.; Favarin, J.L.; Malavolta, M.; Cabral, C.P.; Heinrichs, R.; Silveira, J.S.M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 7, p. 1017-1022, jul. 2002.
- Malavolta, E.; Fernandes, D.R.; Romero, J.P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agronômicas**. V.64, p.1-12, 1993.
- Malavola, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações, 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- Malta, M. R.; Furtini Neto, A. E.; Alves, J. D.; Guimarães, P. T. G. Efeito da aplicação de zinco via foliar na síntese de triptofano, aminoácidos e proteínas solúveis em mudas de cafeeiro. **Brazil Journal Plant Physiology**, 14(1): 31-37, 2002.
- Malta, M. R.; Furtini Neto, A. E.; Alves, J. D.; Guimarães, P. T. G.; Nogueira, F.D. Translocação de zinco aplicado via foliar em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). I Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil. **In**: Resumos expandidos (Poços de Caldas - MG). 26 a 29 setembro, 1999. 2 v. (1490 p.), p. 1438-1440.
- Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.
- Martinez, H. E. P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 61 p. (Cadernos Didáticos, 1).
- Martinez, H. E. P. **Manual Prático de Hidroponia**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 271 p.
- Martinez, H.E.P.; Menezes, J.F.S.; Souza, R.B. de; Venegas, V.H.A.; Guimarães, P.T.G. Faixas críticas de concentração de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n. 6, p. 703,713, jun. 2003.
- Martinez, H. E. P.; Novais, R. F.; Sacramento, L. V. S. & Rodrigues, L. a. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Ver. Bras. de Ciências do Solo**. 17:239-244, 1993.
- Martinez, H. E. P.; Tomaz, M. A.; Kakiyama, N. S. **Guia de acompanhamento das aulas de cafeicultura**. 2.ed. 152 p. Viçosa: Editora UFV, 2007 (Cadernos Didáticos; 98)

- Martinez, H.E.P.; Souza, R.B. de; Venegas., V.H.A.; Menezes, J.F.S.; Neves, Y.P.; Oliveira, J.A. de; Alvarenga, A. de P.; Guimarães, P.T.G. **Nutrição Mineral, Fertilidade do Solo e Produtividade do Cafeeiro nas Regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. EPAMIG. Boletim Técnico, 72. 2 ed., ver. e aum. Belo Horizonte, 2004. 60p.
- Martinez, H. E. P.; Zabini, A.V.; Franco, I.A. de L.; Novais, R.F. de. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.491-497, mai-jun, 2005.
- Matiello, J.B.; Santinato, R.; Garcia, A.W.R.; Almeida, S.R.; Fernández, D.R. **Cultura de café no Brasil – Novo Manual de Recomendações**. MAPA – SARC/PROCAFÉ – SPAE/DECAF. Rio de Janeiro – RJ e Varginha – MG, setembro de 2005. 438 p.
- Mills, H.A.; Jones Jr., J.B. **Plant analysis handbook II**. 2 ed. Athens: Micro-Macro-Publishing, 1996. 422p.
- Morita, T. & Assumpção, R.M.V. **Manual de Soluções, Reagentes e Solventes**. padronização – preparação – purificação. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2 ed., 1998, 629 p.
- Motta, A.C.V.; Serrat, B.M.; Reissmann, C.B.; Dionísio, J.A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: Edição do autor, 2007. 246p.
- Oliveira, P.L.C.; Alves, R.M.L. Certificação da cadeia produtiva do café. **Revista Alimentação / Negócios do Estado**, São Paulo, v. 38, p. 76-78, 2001.
- Partelli, F.L.; Carvalho, V.B. de; Vieira, H.D. Faixa crítica foliar para o cafeeiro arábica da região de Manhuaçu – MG no verão e no inverno. IV Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. **Resumos** (Londrina - PR) CD-ROM. 2 a 5 maio, 2005.
- Paula Júnior, T. de.; Venzon, M. (Coordenadores) **101 Culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800p.
- Pavan, M.A.; Caramori, P.H.; Androcioli Filho, A.; Scholz, M.F. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de uma lavoura cafeeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, p. 187-192, 1986.

- Pearson, J.N.; Rengel, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal Exp. Bot.**, v. 45, p. 1829-1835, 1994.
- Rengel, Z.; Römheld, V.; Marschner, H. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. **Journal Plant Physiology**, v. 152, p. 433-438, 1998.
- Reis Jr., R. dos A.; Martinez, H.E.P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agrícola**, v.59, n.3, p.537-542, jul./set. 2002.
- Sacramento, L. V. S. do. **Absorção foliar, radicular e translocação de zinco em cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus Botucatu, Botucatu – SP Agosto, 1998.
- Sands, R. & Mulligan, D. R. Water and nutrient dynamics an tree growth. **For. Ecol. Manag.**, 30:91-111, 1990.
- Silva, J.B.S. da. **Influência de doses de sulfato de zinco aplicados via foliar, sobre a produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Lavras/ESAL, 1979, 62p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas).
- Souza, C. A. S.; Guimarães, P. t. G.; Furtini Neto, A. e. & Nogueira, F. D. Efeitos de doses de zinco via solo em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia.**, Lavras v.25, n.4, p.890-899, jul./ago. 2001.
- Taiz, L. & Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- Tomaz, M.A.; Martienz, H.E.P.; Sakiyama, N.S.; Cruz, C.D.; Pereira, A.A. Absorção, translocação e utilização de zinco, cobre e manganês por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 377-384, 2006.
- Vose, P. B. Geneticl aspects of mineral nutrition – progress to date. **In:** Galbeman, H. W.; Louhman (Eds.). Genetic aspects of plant mineral nutrition. Boston, Lancaster. p.3-13, 1987.
- Zabini, A.V. **Seleção, caracterização e tolerância diferencial à deficiência de zinco de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.)**. Viçosa,

Universidade Federal de Viçosa, 2004. 105 p. (Dissertação: Mestrado em Fitotecnia).

Zabini, A.V.; Martinez, H.E.P.; Finger, F.L.; Silva, C.A. Concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) eficientes no uso de zinco. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 95-103, Oct./Dez. 2007.

Zhang, C. & Brown, P.H. Distribution and transport of foliar applied zinc in pistachio. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, 124: 433-436, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A

FOTOS DO EXPERIMENTO



Figura 1A – Foto do experimento na casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da UFV, mudas com aproximadamente 6 meses, tratamento com solução nutritiva na concentração de $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.



Figura 2A – Foto do experimento na casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da UFV, mudas com aproximadamente 6 meses, tratamento com solução nutritiva na concentração de $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.



Figura 3A – Fotos A – variedade Acaia Cerrado, B – Caturra Amarelo, C – Catucaí Vermelho e D – IPR-102, sendo o número 1 referente ao tratamento com $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn e o número 2 ao tratamento com $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, em solução nutritiva.



Figura 4A – Fotos A – variedade Oeiras, B – Paraíso, C – Rubi e D – San Ramon (D1 e D2), sendo o número 1 referente ao tratamento com $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn e o número 2 ao tratamento com $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, em solução nutritiva.

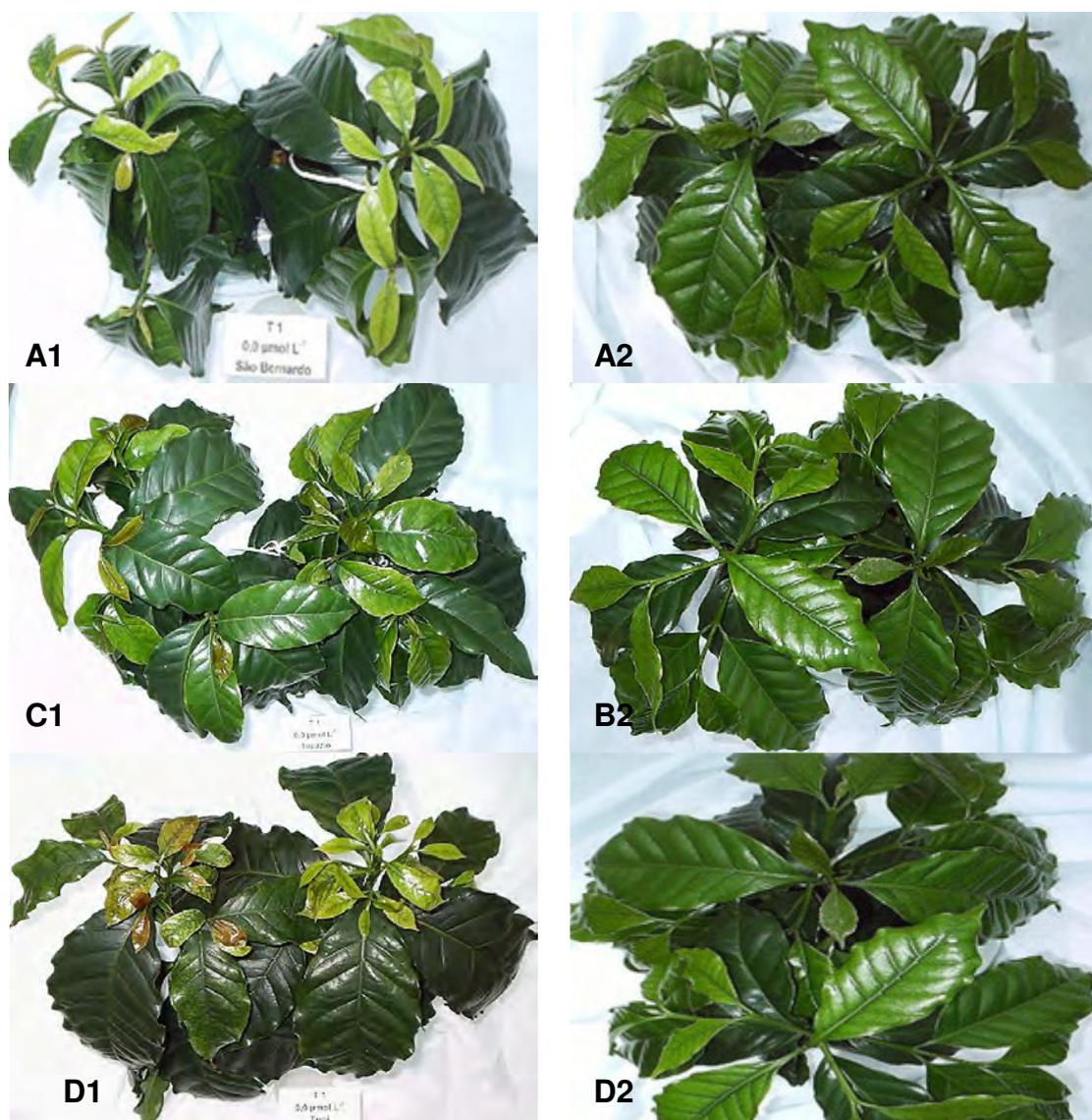


Figura 4A – Fotos A – variedade São Bernardo, B – Topázio e C – Tupi, sendo o número 1 referente ao tratamento com $0,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn e o número 2 ao tratamento com $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Zn, em solução nutritiva.

APÊNDICE B

CAPÍTULO 1

Quadro 1B – Resumo da análise de variância das matéria seca das folhas apicais (MSFA), folhas recém maduras (MSFRM), folhas inferiores (MSFI), do caule (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS					
		MSFA	MSFRM	MSFI	MSC	MSR	MST
Variedades	10	0,913 ^{ns}	16,437 *	0,890 ^{ns}	9,901 *	2,899 ^{ns}	99,920 *
Zinco	1	10,027 *	11,612 *	1,228 ^{ns}	1,761 ^{ns}	2,064 ^{ns}	57,340 *
Var x zinco	10	0,139 ^{ns}	1,199 ^{ns}	0,508 ^{ns}	3,490 *	0,973 ^{ns}	13,390 *
Var/zinco	20	0,526 ^{ns}	8,818 *	0,699 ^{ns}	6,696 *	1,936 *	56,655 *
Var/zinco +	10	0,439 ^{ns}	8,205 *	0,614 ^{ns}	7,977 *	1,603 *	51,348 *
Var/zinco -	10	0,613 ^{ns}	9,431 *	0,784 ^{ns}	5,414 *	2,270 *	61,962 *
Resíduo	44	0,193	2,251	0,296	2,912	1,517 ^{ns}	16,049 *
Total	65						
Média		1,645	5,997	2,596	3,733	3,809	17,779
CV (%)		26,73	25,02	20,97	45,709	32,34	22,53

* Significativo, pelo teste F a 5%;^{ns} não significativo.

Quadro 2B – Resumo da análise das produções relativas de matéria seca nas folhas apicais (MSFA), folhas recém maduras (MSFRM), folhas inferiores (MSFI), do caule (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta às concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS					
		MSFA	MDFRM	MSFI	MSC	MSR	MST
Blocos	2	431,73	1338,07	72,06	764,17	1362,95	635,27
Variedades	10	976,59 *	766,09 *	1749,21 *	1156,35 *	1355,384*	518,56 *
Resíduo	20	388,74	262,07	198,94	129,63	369,39	154,84
Total	32						
Média		57,17	86,18	94,06	87,42	108,46	88,69
CV (%)		34,49	18,78	14,99	13,02	17,72	14,03

* Significativo, pelo teste F a 5%;^{ns} não significativo.

Quadro 3B – Resumo da análise de variância das características de crescimento: diâmetro do caule (DC); altura de planta (ALT); volume de raiz (VR); área foliar das folhas apicais (AFFA), recém maduras (AFFRM), inferiores (AFFI) e total (AFT); número de folhas apicais (NFA), recém maduras (NFRM), inferiores (NFI) e total (NFT) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta a diferentes concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIACÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS											
		DC	ALT	VR	AFFA	AFFRM	AFFI	AFT	NFA	NFRM	NFI	NFT	NRP
Variedades	10	3,82 *	427,64 *	469,85 *	20514,14 *	256510,74 *	16404,13 *	550121,21 *	67,97 *	96,79 *	15,84 *	337,79 *	7,31 *
Zinco	1	0,65 ^{ns}	35,31 *	30,68 *	421526,85 *	102081,80 *	149192,88 *	1836047,67 *	63,03 *	2,18 ^{ns}	13,63 *	103,13 *	13,18 *
Variedade x zinco	10	0,46 ^{ns}	8,30 *	283,18 *	4924,76 *	21825,28 *	10817,57 *	60170,19 *	64,26 *	30,09 *	8,34 *	177,80 *	2,94 ^{ns}
Variedade/zinco	20	2,14 *	217,97 *	376,52 *	12719,45 *	139168,01 *	13610,85 *	305145,71 *	66,11 *	63,45 *	12,09 *	257,79 *	5,13 *
Variedade/zinco +	10	2,36 *	214,83 *	183,03 *	9878,82 *	140531,54 *	9506,87 *	272512,33 *	34,50 *	96,43 *	11,19 *	242,55	7,70 *
Variedade/zinco -	10	1,92 ^{ns}	221,11 *	570,00 *	15560,08 *	137804,49 *	17714,83 *	337779,08 *	97,72 *	30,46 *	12,99*	273,05	2,55 *
Resíduo	44	0,84	16,92	412,12	5538,74	71714,69	5010,28	105060,69	20,63	12,67	4,59	57,09	1,12
Total	65												
Média		6,24	33,81	60,68	241,46	786,74	378,30	1406,49	16,87	13,19	10,56	4,61	5,01
CV (%)		14,72	12,17	33,45	30,82	34,039	18,71	23,04	26,92	26,97	20,31	18,61	21,18

* Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.

Quadro 4B – Resumo da análise de variância das produções relativas das características de crescimento: diâmetro do caule (DC); altura de planta (ALT); volume de raiz (VR); área foliar das folhas apicais (AFFA), recém maduras (AFFRM), inferiores (AFFI) e total (AFT); número de folhas apicais (NFA), recém maduras (NFRM), inferiores (NFI) e total (NFT) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS											
		DC	ALT	VR	AFFA	AFFRM	AFFI	AFT	NFA	NFRM	NFI	NFT	NRP
Blocos	2	856,39	933,96	4620,84	262,96	1788,31	201,29	210,36	676,18	1156,69	1069,17	675,93	493,48
Variedades	10	200,54 ^{NS}	142,29 ^{NS}	1244,67 ^{NS}	636,84 ^{NS}	532,74 ^{NS}	979,56 *	388,17 ^{NS}	1638,79 ^{NS}	2590,19 *	2242,51 *	1146,17 ^{NS}	1600,45 ^{NS}
Resíduo	20	203,72	109,27	1385,39	586,79	551,74	302,07	279,65	950,94	955,78	545,09	509,26	719,30
Total	32												
Média		96,72	95,81	105,79	50,01	90,65	79,48	78,10	93,55	101,99	94,32	95,73	85,47
CV (%)		14,75	10,91	35,18	48,43	25,91	21,87	21,41	32,96	30,31	24,75	23,57	31,38

* Significativo, pelo teste F a 5%.

Quadro 5B – Estimativa de autovalores e variação acumulada associada as variáveis canônicas, obtidas a partir das produções relativas das características de crescimento: matéria seca (MS), diâmetro do caule (DC), volume de raiz (VR), área foliar número de folha e número de ramos plagiotrópicos, avaliadas em 11 variedades de cafeeiro, em resposta a duas concentrações de zinco, em solução nutritiva.

VARIÁVEIS CANÔNICAS	RAIZ	RAIZ %	% ACUMULADA
VC1	390,9959	64,1896	64,19
VC2	156,4655	25,6869	89,87
VC3	34,7746	5,7089	95,58
VC4	12,92	2,1216	97,71
VC5	5,2871	0,8679	98,57
VC6	4,4129	0,7245	99,29
VC7	2,7857	0,4573	99,76
VC8	0,6027	0,0989	99,86
VC9	0,4463	0,7328	99,93
VC10	0,4326	0,7102	100,00
VC11	0,00	0,00	100,00
VC12	0,00	0,00	100,00
VC13	0,00	0,00	100,00
VC14	0,00	0,00	100,00
VC15	0,00	0,00	100,00
VC16	0,00	0,00	100,00
VC17	0,00	0,00	100,00
VC18	0,00	0,00	100,00

Quadro 6B – Importância relativa das produções relativas das características de crescimento nas variáveis canônicas, avaliadas em 11 variedades de cafeeiro, em resposta a duas concentrações de zinco, em solução nutritiva.

VARIÁVEIS CANÔNICAS	CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO																	
	MSFA	MDFRM	MSFI	MSC	MSR	MST	DC	ALT	VR	AFFA	AFFRM	AFFI	AFT	NFA	NFRM	NFI	NFT	NRP
VC1	4,76	2,27	1,45	-10,39	1,36	-3,83	-7,59	17,84	5,66	-7,63	13,39	2,97	6,89	-27,13	4,33	-5,99	5,09	-0,27
VC2	-15,77	-32,26	-9,69	-12,72	-18,84	70,35	4,68	-2,99	-5,11	3,99	-15,41	-12,22	-4,89	21,46	6,19	2,99	-3,69	0,56
VC3	1,98	1,67	-1,14	1,05	-0,18	-6,29	-3,08	-0,58	1,95	-1,35	-18,52	-5,84	-4,47	20,88	-1,75	-0,26	2,86	0,08
VC4	-1,93	1,86	0,86	-0,52	0,85	1,22	0,50	-2,39	-2,18	-0,13	-5,23	-1,84	-0,69	5,71	3,24	0,64	-0,32	-0,91
VC5	-0,98	-2,99	-3,49	0,50	-1,89	5,59	1,37	-3,29	1,46	0,24	3,37	3,36	3,39	-5,13	-2,02	1,74	-2,02	1,23
VC6	0,59	-1,74	0,78	0,01	-0,93	-0,53	-0,49	-1,42	-1,03	1,11	5,09	4,27	2,69	-6,91	-1,04	0,39	0,27	2,05
VC7	0,11	-0,89	-1,69	-0,69	-1,03	3,33	-0,52	-1,44	1,57	-0,17	4,25	3,24	1,03	-6,54	0,31	-1,56	-0,22	0,99
VC8	0,03	0,90	0,25	0,63	1,55	-2,23	0,45	0,36	-0,23	0,15	-4,73	-4,63	-2,32	10,05	-0,71	-0,74	-0,45	0,09
VC9	0,74	-1,40	0,01	-0,14	0,85	0,58	-0,55	0,91	-0,49	-0,79	0,01	1,85	0,31	-1,61	0,54	-0,67	0,52	0,24
VC10	0,78	2,37	0,91	1,28	2,83	-7,20	-1,08	1,13	0,84	0,95	-5,62	-4,45	-2,31	8,21	0,67	-0,90	0,77	-0,46
VC11	0,06	-0,43	0,44	0,39	0,57	-0,48	-0,49	1,47	-0,45	-0,94	-0,66	-1,07	0,36	1,01	0,55	-0,07	-0,01	-0,51
VC12	0,06	0,34	0,08	-0,18	-0,67	0,05	-0,66	0,81	0,29	-0,33	2,51	1,89	0,74	-4,22	-0,19	-0,40	0,87	0,66
VC13	0,62	-1,64	-0,97	-0,47	-0,75	3,09	0,09	-0,61	0,44	0,93	-1,46	-1,36	-0,25	2,49	-0,03	0,13	-0,21	0,02
VC14	0,02	0,53	0,38	0,36	0,79	-2,35	0,01	-1,07	-1,48	2,47	2,39	1,49	1,03	-3,84	0,03	-0,06	0,32	0,51
VC15	0,21	0,27	0,03	0,85	1,36	-3,34	-0,18	0,77	0,14	0,33	0,68	1,83	0,61	-1,42	0,42	0,41	-0,86	0,27
VC16	0,33	1,39	0,42	1,06	2,37	-4,73	0,53	-1,41	0,79	1,23	-4,54	-3,61	-2,88	7,71	0,60	0,93	-0,52	0,03
VC17	0,47	3,76	0,86	1,76	3,51	-10,08	0,26	2,81	1,64	-1,18	0,92	0,06	-0,27	-1,89	0,30	-1,86	1,90	-0,22
VC18	0,45	2,99	0,86	2,03	2,89	-7,58	0,80	0,81	0,30	-0,34	-7,33	-5,99	-2,69	11,01	1,79	-0,59	-0,66	0,39

APÊNDICE C

CAPÍTULO 2

Quadro 1C – Resumo da análise de variância dos conteúdos de zinco nas folhas apicais (CZnFA), folhas recém maduras (CZnFRM), folhas inferiores (CZnFI), nos caule (CZnC), nas raízes (CZnR) e total (CZnT), de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS					
		CZnFA	CZnFRM	CZnFI	CZnC	CZnR	CZnT
Variedades	10	134,476 *	1549,927 *	105,056 *	3549,727 *	2805,341 ^{NS}	20818,631 *
Zinco	1	8962,788 *	30688,548 *	2600,687 *	211329,58 *	144614,44 *	1347547,75 *
Var x zinco	10	72,358 *	409,058 ^{NS}	45,021 ^{NS}	2762,153 ^{NS}	2669,095 ^{NS}	10432,267 ^{NS}
Var/zinco	20	103,417 *	979,493 *	75,038 *	3155,940 *	2737,218 ^{NS}	15625,449 *
Var/zinco +	10	42,964 ^{NS}	431,146 ^{NS}	42,631 ^{NS}	146,867 ^{NS}	153,346 ^{NS}	2114,212 ^{NS}
Var/zinco -	10	163,870 *	1527,839 *	107,445 *	6165,013 *	5321,091 *	29136,686 *
Resíduo	44	39,437	377,252	30,094	1670,371	1555,432	6967,556
Total	65						
Média		24,55	64,98	27,98	78,39	85,28	281,19
CV (%)		25,58	29,89	19,61	52,13	46,24	29,68

* Significativo, pelo teste F a 5%;^{NS} não significativo.

Quadro 2C – Resumo da análise de variância das variáveis: eficiência de absorção (EA), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência de produção de biomassa foliar (EPBF) e eficiência de utilização (EU) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS			
		EA	EPB	EPBF	EU
Variedades	10	884,811 *	0,925 *	0,437 *	1,066 *
Zinco	1	121952,74 *	14,143 *	1,893 *	25,636 *
Variedade x zinco	10	594,383 *	0,417 ^{NS}	0,059 ^{NS}	0,449 ^{NS}
Variedade/zinco	20	739,597 *	0,671 *	0,248 *	0,757 *
Variedade/zinco +	10	75,251 ^{NS}	1,208 *	0,341 *	1,320 *
Variedade/zinco -	10	1403,943 *	0,134 ^{NS}	0,155 ^{NS}	0,195 ^{NS}
Resíduo	44	281,119	0,264	0,076	0,274
Total	65				
Média		78,52	1,26	0,98	1,47
CV (%)		21,35	40,89	28,31	35,54

* Significativo, pelo teste F a 5%;^{NS} não significativo.

APÊNDICE D

CAPÍTULO 3

Quadro 1D – Resumo da análise de variância das concentrações de zinco total nas folhas apicais (ZnFA), folhas recém maduras (ZnFRM), folhas inferiores (ZnFI), do caule (ZnC) e nas raízes (ZnR) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS				
		ZnFA	ZnFRM	ZnFI	ZnC	ZnR
Variedades	10	12,534 ^{ns}	4,297 ^{ns}	4,642 *	158,431 ^{ns}	239,387 *
Zinco	1	951,900 *	506,301 *	235,985 *	14921,485 *	13173,682 *
Variedade x zinco	10	25,725 *	5,448 ^{ns}	3,712 *	144,362 ^{ns}	244,502 *
Variedade/zinco	20	19,129 ^{ns}	4,872 ^{ns}	4,177 *	151,397 ^{ns}	241,945 *
Variedade/zinco +	10	18,013 *	3,804 ^{ns}	1,759 *	7,458 ^{ns}	2,335 ^{ns}
Variedade/zinco -	10	20,246 *	5,939 ^{ns}	6,595 *	295,335 *	481,554 *
Resíduo	44	11,84	6,967	0,769	86,527	62,816
Total	65					
Média		14,33	10,80	10,77	21,98	23,73
CV (%)		24,02	24,44	8,14	42,32	33,41

* Significativo, pelo teste F a 5%;^{ns} não significativo.

Quadro 2D – Resumo da análise de variância das concentrações de zinco ativo nas folhas apicais (ZnAFA), folhas recém maduras (ZnAFRM), folhas inferiores (ZnAFI), do caule (ZnAC) e nas raízes (ZnAR) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS				
		ZnAFA	ZnAFRM	ZnAFI	ZnAC	ZnAR
Variedades	10	6,220 ^{ns}	1,460 ^{ns}	1,685 ^{ns}	18,048 ^{ns}	37,273 ^{ns}
Zinco	1	13,114 ^{ns}	84,334 *	133,617 *	1656,727 *	3033,467 *
Variedade x zinco	10	3,696 ^v	2,649 ^{ns}	2,975 ^{ns}	16,571 ^{ns}	58,076 ^{ns}
Variedade/zinco	20	4,958 ^{ns}	2,055 ^{ns}	2,330 ^{ns}	17,309 ^{ns}	47,674 ^{ns}
Variedade/zinco +	10	6,696 ^{ns}	1,347 ^{ns}	0,258 ^{ns}	1,438 ^{ns}	7,395 ^{ns}
Variedade/zinco -	10	3,319 ^{ns}	2,762 ^{ns}	4,403 ^{ns}	33,181 *	87,954 *
Resíduo	44	6,634	2,748	2,855	12,883	34,728
Total	65					
Média		5,94	4,27	4,76	8,81	16,46
CV (%)		43,39	38,89	35,48	40,76	35,81

* Significativo, pelo teste F a 5%;^{ns} não significativo.

Quadro 3D – Resumo da análise de variância das medidas de índice SPAD nas folhas apicais (SPADFA) e folhas recém maduras (SPADFRM), de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS	
		SPADFA	SPADFRM
Variedades	10	32,115 ^{NS}	55,630 *
Zinco	1	5617,564 *	1,935 ^{NS}
Variedade x zinco	10	14,399 ^{NS}	15,776 ^{NS}
Variedade/zinco	20	23,257 ^{NS}	35,703 *
Variedade/zinco +	10	31,353 ^{NS}	35,634 ^{NS}
Variedade/zinco -	10	15,161 ^{NS}	35,773 ^{NS}
Resíduo	44	26,471	18,604
Total	65		
Média		43,95	75,11
CV (%)		11,71	5,74

* Significativo, pelo teste F a 5%; ^{NS} não significativo.

Quadro 4D – Resumo da análise das concentrações relativas de zinco nas folhas apicais (ZnRFA), folhas recém maduras (ZnRFRM), folhas inferiores (ZnRFI), do caule (ZnRC) e nas raízes (ZnRR) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS				
		ZnRFA	ZnRFRM	ZnRFI	ZnRC	ZnRR
Blocos	2	46,35	342,88	13,31	13,89	33,689
Variedades	10	985,13 ^{NS}	120,85 ^{NS}	275,47 *	204,27 *	185,03 *
Resíduo	20	338,59	76,73	32,06	23,54	14,51
Total	32					
Média		58,95	56,55	71,09	20,51	27,61
CV (%)		31,22	15,49	7,96	23,66	13,79

* Significativo, pelo teste F a 5%; ^{NS} não significativo.

Quadro 5D – Resumo da análise das concentrações relativas de zinco ativo nas folhas apicais (ZnARFA), folhas recém maduras (ZnARFRM), folhas inferiores (ZnARFI), do caule (ZnARC) e nas raízes (ZnARR) de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS				
		ZnARFA	ZnARFRM	ZnARFI	ZnARC	ZnARR
Blocos	2	2583,52	362,826	42,31	76,85	47,29
Variedades	10	602,58 *	740,95 *	574,56 *	211,48 *	516,52 *
Resíduo	20	203,22	193,65	66,82	23,92	46,79
Total	32					
Média		74,93	59,25	55,58	28,87	42,87
CV (%)		19,03	23,49	14,71	16,94	15,96

* Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.

Quadro 6D – Resumo da análise de variância das medidas relativas de índice SPAD nas folhas apicais (SPADRFA) e folhas recém maduras (SPADRFRM), de 11 variedades de cafeeiro, em resposta as concentrações de zinco, em solução nutritiva.

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADOS MÉDIOS	
		SPADRFA	SPADRFRM
Blocos	2	125,09	73,01
Variedades	10	95,60 ^{ns}	57,18 ^{ns}
Resíduo	20	152,45	50,34
Total	32		
Média		65,31	100,54
CV (%)		18,91	7,06

* Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.

Quadro 7D – Estimativa de autovalores e variação acumulada associada as variáveis canônicas, obtidas a partir das concentrações relativas de zinco total nas folhas apicais (ZnRFA), folhas recém maduras (ZnRFRM), folhas inferiores (ZnRFI), do caule (ZnRC) e nas raízes (ZnRR); de zinco ativo nas folhas apicais (ZnARFA), folhas recém maduras (ZnARFRM), folhas inferiores (ZnARFI), do caule (ZnARC) e nas raízes (ZnARR) e das medidas relativas de índice SPAD nas folhas apicais (SPADRFA) e folhas recém maduras (SPADRFRM), avaliadas em 11 variedades de cafeeiro, em resposta às duas concentrações de zinco, em solução nutritiva.

VARIÁVEIS CANÔNICAS	RAIZ	RAIZ %	% ACUMULADA
VC1	30,8944	45,5497	45,55
VC2	20,8391	30,7245	76,27
VC3	6,5946	9,7229	85,99
VC4	5,1951	7,6595	93,66
VC5	2,0518	3,0251	96,68
VC6	1,1593	1,7093	98,39
VC7	0,5324	0,7849	99,18
VC8	0,2919	0,4304	99,61
VC9	0,1791	0,2641	99,87
VC10	0,0878	0,1295	100,00
VC11	0,00	0,00	100,00
VC12	0,00	0,00	100,00

Quadro 8D – Importância relativa das produções relativas de zinco total nas folhas apicais (ZnRFA), folhas recém maduras (ZnRFRM), folhas inferiores (ZnRFI), do caule (ZnRC) e nas raízes (ZnRR); de zinco ativo nas folhas apicais (ZnARFA), folhas recém maduras (ZnARFRM), folhas inferiores (ZnARFI), do caule (ZnARC) e nas raízes (ZnARR), e das medidas relativas de índice SPAD nas folhas apicais (SPADRFA) e folhas recém maduras (SPADRFRM), nas variáveis canônicas, avaliadas em 11 variedades de cafeeiro, em resposta a duas concentrações de zinco, em solução nutritiva.

VARIÁVEIS CANÔNICAS	ZnRFA	ZnRFRM	ZnRFI	ZnRC	ZnRR	ZnARFA	ZnARFRM	ZnARFI	ZnARC	ZnARR	SPADRFA	SPADRFRM
VC1	1,09	-0,076	-0,74	-0,42	-0,72	0,06	0,48	0,89	-0,75	-0,93	1,07	0,03
VC2	-0,74	0,31	-0,78	-1,05	1,38	-1,11	1,40	0,92	0,61	0,25	0,10	0,06
VC3	-1,21	-0,41	0,68	1,29	-0,28	-0,74	0,20	0,51	-0,39	0,35	-0,03	-0,17
VC4	0,33	-0,89	-0,43	-0,03	0,39	0,81	0,27	0,02	0,94	-0,63	0,31	0,73
VC5	-0,03	-0,44	0,46	0,16	0,68	0,19	0,66	-0,17	-0,31	-0,78	0,24	0,11
VC6	-0,09	-1,39	-0,06	-0,10	0,53	0,43	-0,11	-0,29	0,08	-0,32	1,40	0,55
VC7	0,49	0,04	0,41	-0,55	-0,62	0,45	-0,11	0,31	0,34	0,35	-0,25	0,52
VC8	0,12	-0,18	-0,15	0,52	-0,14	0,36	0,30	-0,21	-0,67	0,39	0,11	-0,31
VC9	0,31	0,27	-0,27	0,11	-0,06	0,31	-0,70	0,54	-0,08	0,27	0,37	-0,62
VC10	-0,53	0,58	-0,13	-0,07	0,01	0,25	-0,05	-0,19	-0,05	-0,07	0,17	0,18
VC11	0,23	0,43	0,23	0,24	-0,21	-0,67	0,26	0,09	0,01	0,18	0,21	0,32
VC12	0,04	0,51	-0,31	0,36	0,11	0,14	-0,29	-0,01	-0,54	0,03	-0,47	0,33

Quadro 9D – Concentrações de clorofila a (C_a), clorofila b (C_b), clorofila total (C_T) e carotenos + xantofilas ($C+X$), em onze variedades de cafeeiro, nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.

VARIEDADES	C_a		C_b		C_T		$C+X$	
	mg L^{-1}							
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
	$\mu\text{mol L}^{-1}$							
Acaia Cerrado	6,242	13,445	3,421	5,874	9,664	19,318	1,125	2,04
Caturra Amarelo	2,443	11,002	1,444	5,589	3,887	16,591	0,413	1,322
Catucaí Vermelho	2,803	15,202	1,172	5,284	3,975	20,486	0,572	2,329
IPR-102	4,334	11,753	2,141	5,337	6,475	17,090	0,935	1,918
Oeiras	5,194	12,465	2,841	7,624	8,035	20,088	0,864	1,364
Paraíso	7,839	10,321	3,794	4,408	11,633	14,729	1,602	1,729
Rubi	7,519	8,673	4,212	4,606	11,731	13,279	1,188	1,377
San Ramon	6,766	12,675	2,064	6,357	8,831	19,032	1,233	1,729
São Bernardo	3,433	9,393	1,316	5,933	4,749	15,326	0,569	1,184
Topázio	6,038	11,764	2,856	4,987	8,893	16,751	1,097	2,013
Tupi	8,996	12,207	3,455	6,755	12,451	18,962	1,939	1,619

Quadro 10D – Concentrações de dismutase do superóxido (SOD) por miligrama de proteína, e concentração de compostos indólicos (CI) em g kg^{-1} de matéria fresca, em onze variedades de cafeeiros nas doses de 0,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de zinco.

VARIEDADES	SOD		CI	
	0,0	6,0	0,0	6,0
	$\mu\text{mol L}^{-1}$			
Acaia Cerrado	20,66	23,01	88.80	121.6
Caturra Amarelo	10,80	17,98	88.66	105.1
Catucaí Vermelho	16,46	24,16	88.41	114.7
IPR-102	7,57	12,83	64.66	109.1
Oeiras	18,91	24,02	99.98	107.7
Paraíso	7,91	14,62	80.21	155.7
Rubi	3,83	11,53	79.82	110
San Ramon	10,04	14,67	76.44	99.2
São Bernardo	8,17	14,06	64.77	81.8
Topázio	4,92	21,83	93.48	91.66
Tupi	9,65	28,15	119.20	120.4