

YONARA POLTRONIERI NEVES

**CONTEÚDO FOLIAR DE ZINCO, PRODUÇÃO, QUALIDADE DE
GRÃOS E PLASTICIDADE FOLIAR DO CAFEIRO EM
RESPOSTA AO SUPRIMENTO DO NUTRIENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

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

T

N518c
2009

Neves, Yonara Poltronieri, 1969-
Conteúdo foliar de zinco, produção, qualidade de grãos e
plasticidade foliar do cafeeiro em resposta ao suprimento do
nutriente / Yonara Poltronieri Neves. – Viçosa, MG, 2009.
xi, 87f. : il (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Herminia Emilia Prieto Martinez.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 63-80

1. Cafeeiro - Teor de zinco. 2. Micronutrientes. 3.
Produtividade. 4. Café - Anatomia. 5. Grãos - Qualidade.
6. Plantas - Anatomia. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 633.738

YONARA POLTRONIERI NEVES

**CONTEÚDO FOLIAR DE ZINCO, PRODUÇÃO, QUALIDADE DE GRÃOS E
PLASTICIDADE FOLIAR DO CAFEIEIRO EM RESPOSTA
AO SUPRIMENTO DO NUTRIENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 09 de julho de 2009.

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Co-Orientador)

Prof. Júlio Cesar Lima Neves

Prof. Ricardo Henrique Silva Santos

Prof. Luis Vitor Silva do Sacramento

Prof^ª. Hermínia Emilia Prieto Martinez
(Orientadora)

A Deus,
à minha família,
à Herminia.
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, força e fé.

À Universidade Federal de Viçosa, pela minha formação profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia pelos ensinamentos e anos de bom convívio.

À professora Herminia Emilia Prieto Martinez, minha eterna orientadora, amiga e conselheira, pelo apoio nos momentos difíceis, pelos inúmeros sorrisos, pelas agradáveis e intermináveis discussões filosóficas, pelos ensinamentos, pela paciência, carinho, confiança, enfim pelo exemplo de vida.

Ao professor Cláudio Horst Bruckner pela atenção e tranquilidade transmitida frente às dificuldades durante todo período que estive nesta universidade.

Ao professor Paulo Roberto Cecon pelos valiosos conselhos estatísticos e pela amizade.

À professora Marília Contin Ventrella pelos ensinamentos e por me mostrar a beleza da anatomia vegetal.

Aos professores Fernando Luiz Finger e Renildes Lúcio Ferreira Fontes pela disponibilidade e apoio sempre manifestados.

Aos membros da banca, professores Júlio Cesar Lima Neves, Luis Víctor Silva do Sacramento e Ricardo Henrique Silva Santos pelas valiosas críticas e sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao grupo de pesquisa do setor de nutrição mineral de plantas da Estación Experimental Aula Dei, na pessoa do Dr. Javier Abadia pela elaboração e fornecimento do comprimido de sais de zinco.

À professora Adriana Farah e ao Dr. Daniel Perrone da Universidade Federal do Rio de Janeiro pelo interesse e disponibilidade para realização das análises químicas dos grãos de café.

Aos funcionários, Marcelo (eng. agrícola), Ribeiro, Itamar, Domingos, Mara, Cássia, Marise, Graça, Ritinha, Luizinho, Gino, Macabeu, D^{na} Edith e em especial ao Geraldo e todos os funcionários do Setor Agronomia Aeroporto pelo apoio na condução do trabalho, pela amizade e pelo convívio harmônico.

Aos bolsistas/estagiários Diego, Marcelo, Leonardo, Uênio e Bruno pelo auxílio nas atividades de campo e laboratório.

Aos eternos amigos Marialva, Junia, Zabini, Diego, Carlinha, Flavinho, Evander, Milton, Laviola, Ana Maria, Clarice, Fê Segatto, Camila, Hermes, Rosana, Mara, Fernandinha, Adriene, Marinalva, Ahmed, Toca, Giselda, Lucimar, Mychelle e Marcelo pelos momentos de descontração, tornando a realização deste trabalho mais alegre e divertida.

Aos meus amados pais e irmãos pela formação e apoio incondicional.

Ao meu querido Artur, companheiro de todas as horas, amor da minha vida, pelas incontáveis subidas com café.

E em especial à minha princesa Victória, fonte da minha força e alegria, pela imensa compreensão.

A todos aqueles que sempre me apoiaram.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CAPÍTULO 1: CONTEÚDO FOLIAR DE ZINCO EM CAFEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES E FORMAS DE FORNECIMENTO DO NUTRIENTE	3
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.2.1. Zinco na planta.....	5
2.2.2. Inserção de substâncias no tronco de árvores.....	8
2.3. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.3.1. Localização da área experimental e condução dos experimentos.....	10
2.3.1.1. Experimento 1	11
2.3.1.2. Experimento 2	12
2.3.3. Estatística.....	14
2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
2.4.1. Experimento 1.....	16
2.4.2. Experimento 2.....	22
2.5. CONCLUSÕES	29
3. CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO E QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES E FORMAS DE FORNECIMENTO DE ZINCO	30
3.1. INTRODUÇÃO.....	30
3.2. REVISÃO DE LITERATURA	32
3.3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.3.1. Instalação e condução dos experimentos.....	34
3.3.2. Avaliação da produção do cafeeiro	34
3.3.3. Avaliação da qualidade dos grãos de café	34

3.3.3.1. Prova da xícara, classificação dos grãos por tamanho e porcentagem de grãos brocados.....	35
3.3.3.1.1. Prova da xícara	35
3.3.3.1.2. Avaliação da porcentagem de grãos brocados	36
3.3.3.1.3. Classificação quanto ao tamanho dos grãos	36
3.3.3.2. Análise química dos grãos de café	36
3.3.3.2.1. Índice de coloração	36
3.3.3.2.2. Condutividade elétrica e potássio lixiviado	37
3.3.3.2.3. Acidez total titulável	37
3.3.3.2.4. Potencial hidrogeniônico (pH)	37
3.3.3.2.5. Ácidos clorogênicos, cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos	38
3.3.4. Estatística.....	38
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.4.1. Produção de grãos.....	39
3.4.2. Qualidade dos grãos de café	42
3.4.2.1. Prova de xícara	42
3.4.2.2. Porcentagem de grãos brocados	42
3.4.2.3. Tamanho de grãos.....	43
3.4.2.4. Índice de coloração	44
3.4.2.5. Condutividade elétrica e potássio lixiviado	45
3.4.2.6. Acidez total titulável.....	47
3.4.2.7. Potencial hidrogeniônico (pH).....	47
3.4.2.8. Ácidos clorogênicos, cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos.....	48
3.5. CONCLUSÕES	50
4. CAPÍTULO 3: PLASTICIDADE ANATÔMICA FOLIAR DO CAFEIEIRO AFETADA PELO FORNECIMENTO DE ZINCO	51
4.1. INTRODUÇÃO	51
4.2. REVISÃO DE LITERATURA	52
4.3. MATERIAL E MÉTODOS	54
4.3.1. Estatística.....	56
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.5. CONCLUSÕES	61
5. CONCLUSÕES GERAIS	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APÊNDICE	81

RESUMO

NEVES, Yonara Poltronieri, D Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Conteúdo foliar de zinco, produção, qualidade de grãos e plasticidade foliar do cafeeiro em resposta ao suprimento do nutriente.** Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-Orientadores: Fernando Luiz Finger, Marília Contin Ventrella, Paulo Roberto Cecon e Renildes Lúcio Ferreira Fontes.

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade da suplementação do zinco via inserção de comprimidos na haste ortotrópica do *Coffea arabica* L., avaliar a resposta do cafeeiro em termos de produtividade e qualidade dos grãos a doses e modos de fornecimento de Zn e estudar o efeito do Zn na plasticidade anatômica foliar do cafeeiro. Para avaliação do conteúdo foliar de Zn foram instalados dois experimentos em área da Universidade Federal de Viçosa. O experimento 1 foi conduzido na área de pesquisa denominada "Agronomia Vale", no período de outubro de 2003 a junho de 2005. O ensaio foi analisado segundo um esquema fatorial 3x4 sendo o primeiro fator três formas de fornecimento de Zn (T0 - testemunha, sem fornecimento de Zn; T1 - pulverização foliar de ZnSO₄ a 0,4%; T2 - combinação de sais 1 - com 1,80g de sais de Zn) e o segundo fator constituído de quatro cultivares de *Coffea arabica* L. (Acaíá IAC-474-19, Icatu Amarelo IAC-3282, Rubi MG-1192 e Catuaí Vermelho IAC-99). O experimento 2 foi instalado em novembro de 2006 e conduzido até fevereiro de 2009, na área de pesquisa denominada "Agronomia Aeroporto" sendo estudados os seguintes tratamentos: T0 - testemunha, sem fornecimento de Zn; T1.- pulverização foliar com ZnSO₄ a 0,4%; T2 - combinação de sais 1 (comprimido com 1,8g de sais de Zn); T3 - combinação de sais 2 (comprimido com 0,5g de sais de Zn); T4 - combinação de sais 2 (comprimido com 1,0g de sais de Zn); T5 - combinação de sais 2 (comprimido com 3,0g de sais de Zn). As combinações de sais, em ambos os experimentos,

foram fornecidas na forma de comprimidos inseridos no ramo ortotrópico do cafeeiro a 10 cm da superfície do solo. No experimento 2 também foram avaliados a produção de grãos, a qualidade dos grãos e o efeito do Zn na plasticidade foliar do cafeeiro. O suprimento de Zn em ambas as formas de fornecimento, pulverização foliar e comprimidos inseridos no tronco, aumentou os conteúdos foliares de Zn do cafeeiro embora os comprimidos tenham fornecido o nutriente de forma mais regular que a pulverização foliar. A produção e a qualidade dos grãos de café, caracterizada pelo seu tamanho, porcentagem de grãos brocados, condutividade elétrica e o potássio lixiviado, também foram maiores nos tratamentos com fornecimento de Zn, independente da forma do fornecimento. Ambas as combinações de sais possuem comportamento semelhante, sendo a dose fornecida determinante para a obtenção do maior conteúdo foliar de Zn e maior produção de grãos. O fornecimento de Zn afetou a anatomia foliar que sob deficiência deste elemento aumentou as espessuras do limbo foliar, do mesófilo e do parênquima lacunoso. O suprimento de Zn por meio da inserção de comprimidos no tronco de cafeeiros mostrou ser uma forma promissora de fornecimento deste elemento.

ABSTRACT

NEVES, Yonara Poltronieri, D Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009.
Zinc leaf content, production, quality of grains and leaf plasticity of coffee trees in response to supply of this nutrient. Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-Advisers: Fernando Luiz Finger, Marília Contin Ventrella, Paulo Roberto Cecon and Renildes Lúcio Ferreira Fontes.

This study was carried out to investigate the feasibility of zinc supplementation by insertion of tablets in the orthotropic branch of *Coffea arabica* L., verify the response of coffee tree in terms of productivity and quality of grain, evaluate the effect of doses and way of Zn supply on it and study the effect of Zn in leaf anatomical plasticity of coffee trees. To evaluate the Zn leaf content were installed two experiments in the Universidade Federal de Viçosa. Experiment 1 was conducted in the area of research called "Agronomia Vale", from October 2003 to June 2005. The experimental design was a factorial 3x4, being three forms of Zn supply (T0-control, without Zn; T1-foliar application of ZnSO₄ at 0,4%, T2-combination of salts 1 - containing 1,80g of zinc salts) and four cultivars of *Coffea arabica* L. (Acaia IAC-474-19, Icatu Amarelo IAC-3282, Rubi MG-1192 and Catuaí Vermelho IAC-99). Experiment 2 was installed in November 2006 and accomplished until February 2009, on area of research called "Agronomia Aeroporto". In this was studied the following treatments: T0 - control, without Zn supply; T1 - ZnSO₄ foliar spraying at 0,4%, T2 - combination of salts 1 (tablets containing 1,8g of salts of Zn), T3 - combination of salt 2 (tablets containing 0,5g of salts of Zn), T4 - combination of salt 2 (tablets containing 1,0g of salts of Zn), T5 - combination of salt 2 (tablets containing 3,0g of zinc salts). Combinations of salts in both experiments were provided in the form of tablets inserted in the orthotropic branch of coffee trees at 10 cm of the soil surface. In experiment 2 were also evaluated for grain yield, grain

quality and the effect of Zn in the leaf plasticity. The supply of Zn in both forms, foliar spray and tablets inserted in the trunk, increased Zn leaf content. However, the tablets had the nutrient supply more regular than the foliar spray. The production and quality coffee grain, characterized by its size, percentage of Coffee Berry Borer, electric conductivity and leached potassium were also higher in treatment with Zn supply, regardless of the form of supply. Both combinations of salts had similar behavior, and the dose applied was determining to obtain the higher Zn leaf content and higher coffee yield. The supply of Zn affected leaf anatomy that under Zn deficiency increased the thickness of the leaf, the mesophyll and the spongy parenchyma. The supply of Zn by the insertion of tablets in the trunk of coffee trees proved to be a promising way to supply this element.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A falta de qualquer micronutriente pode ocasionar perdas no crescimento e desenvolvimento das plantas, embora estes sejam exigidos em menores quantidades quando comparados aos macronutrientes.

Levantamentos têm demonstrado que a maioria das lavouras cafeeiras avaliadas apresenta deficiência de zinco (Zn) (Gallo et al., 1967; Gallo et al., 1970; Martinez et al., 2004). Este nutriente é essencial em importantes processos fisiológicos e sua falta compromete o crescimento e a produção do cafeeiro (Silva, 1979; Malavolta et al., 1983; Fávaro, 1992; Mello et al., 1999). No entanto, não há relatos da influencia deste elemento na qualidade dos grãos de café, característica esta que incrementa o valor comercial do produto.

A correção da deficiência por Zn é usualmente realizada fornecendo-se o elemento ao solo ou com pulverizações foliares. Entretanto, o suprimento ao solo fica comprometido quando a textura deste é argilosa, pois a forte adsorção deste nutriente à fração coloidal diminui a sua disponibilidade para as plantas. Portanto, o fornecimento via solo somente é recomendado para solos de textura média a arenosa (Malavolta, 1993). Assim, em solos argilosos com baixa disponibilidade deste elemento o suprimento é realizado com pulverizações foliares.

No cafeeiro, o Zn parece ter baixíssima mobilidade ou mesmo imobilidade quando aplicado em folhas maduras (Fávaro, 1992; Martinez et al., 2005). Desta forma, a correção da deficiência se dá apenas nas folhas que recebem o fertilizante. As folhas crescidas após a aplicação do adubo poderão apresentar baixas concentrações do elemento, demandando um número maior de aplicações e onerando o custo de produção, especialmente em regiões montanhosas.

Uma alternativa ao problema exposto é a aplicação de fertilizantes no caule das plantas. As vantagens deste método são o uso eficiente do produto, a redução da contaminação ambiental e ser aplicável quando os métodos tradicionais (solo e foliar) são ineficientes (Sánchez-Zamora e Fernández-Escobar, 2004).

Diversos trabalhos relatam as respostas de plantas às deficiências de nutrientes, entretanto poucos avaliam as modificações anatômicas que podem ocorrer em função do desequilíbrio nutricional.

Assim, o objetivo geral deste foi verificar a viabilidade da suplementação do zinco via inserção de comprimidos na haste ortotrópica do *Coffea arabica* L., avaliar a resposta do cafeeiro em termos de produtividade e qualidade dos grãos a doses e modos de fornecimento de Zn e estudar o efeito do Zn na plasticidade anatômica foliar do cafeeiro.

Para se atingir o objetivo geral foram realizados os experimentos descritos em três capítulos:

Capítulo 1: "Conteúdo foliar de zinco em cafeeiros submetidos a diferentes formas de fornecimento do nutriente".

Capítulo 2: "Produção e qualidade de grãos de cafeeiros submetidos a diferentes formas de fornecimento de zinco".

Capítulo 3: "Plasticidade anatômica foliar do cafeeiro afetada pelo fornecimento de Zn".

2. CAPÍTULO 1: CONTEÚDO FOLIAR DE ZINCO EM CAFEEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES E FORMAS DE FORNECIMENTO DO NUTRIENTE

2.1. INTRODUÇÃO

O Zn pode ser absorvido pelas raízes ou pelas folhas, contudo a resposta positiva do cafeeiro à aplicação de Zn via solo ocorra em função de vários fatores, dentre eles a textura do solo, a capacidade de troca catiônica, a presença dos óxidos de ferro, alumínio e manganês (Shuman, 1986), o pH do solo (Okasaki et al., 1986; Sims, 1986; Fageria, 1998), a matéria orgânica (Sharma e Deb, 1988; Hamilton, 1993; Ahumada et al., 1997) e a adubação fosfatada (Haldar e Mandal, 1981; Cakmak e Marschner, 1987; Tagwira et al. 1993).

Desta forma, a deficiência de Zn na planta não significa, obrigatoriamente, que o elemento esteja deficiente no solo; pode ser que este não esteja numa forma disponível para as plantas.

Nessas condições, a forma usual de fornecimento deste nutriente é via pulverização foliar, todavia, a resposta à aplicação de Zn através das folhas depende dos processos de penetração do elemento na cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para os drenos preferenciais (Rodrigues et al., 1997). Ademais, em cafeeiros, a mobilidade do Zn no floema parece ser baixa (Fávaro, 1992; Martinez et al., 2005) fazendo-se necessárias várias aplicações no período de maior crescimento vegetativo, aumentando o custo de produção da lavoura.

Pelo exposto, verifica-se a importância e a necessidade do estudo de novas formas de fornecimento do Zn ao cafeeiro. O objetivo do presente trabalho foi verificar a viabilidade do suprimento do Zn por meio da inserção de comprimidos contendo sais de Zn na base do tronco de cafeeiros estudando-se o conteúdo foliar de Zn.

2.2. REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1. Zinco na planta

Nas plantas superiores, o Zn é essencial em importantes processos fisiológicos. A participação mais importante do Zn nos processos metabólicos das plantas é como componente de várias enzimas (Dechen et al., 1991), tais como, a anidrase carbônica, álcool desidrogenase e CuZn-superoxido dismutase. É também ativador de vários tipos de enzimas, incluindo desidrogenases, aldolases, isomerases e transfosforilases (Marschner, 1995).

Dentre as diversas enzimas em que o Zn é constituinte está a sintetase do triptofano, a qual é responsável pela produção de triptofano a partir de compostos indólicos e serina. O triptofano, por sua vez, é precursor do ácido indol acético (IAA), principal hormônio de crescimento vegetal (Taiz e Zeiger, 2004).

O Zn está estreitamente envolvido no metabolismo de nitrogênio nas plantas e, conseqüentemente, na síntese protéica (Tsui, 1948; Mengel e Kirby, 1987). Ramaiah et al. (1964) observaram que os teores de proteínas formadas em folhas de cafeeiros com deficiência em Zn foram menores que em folhas normais. Como conseqüência há acúmulo de aminoácidos, já que nestas condições, a síntese de proteína e o nível protéico são acentuadamente reduzidos (Kitagishi et al., 1987; Mengel e Kirkby, 1987; Cakmak et al., 1989). Ademais, o Zn controla a atividade da enzima RNase que hidrolisa o RNA, causando a diminuição da síntese protéica, dificultando a divisão celular, proporcionando menor número e tamanho de células e reduzindo o comprimento de internódios (Malavolta, 1980). Desta forma, a deficiência de Zn provoca redução dos internódios, folhas pequenas, estreitas e lanceoladas,

formação de “rosetas” nas pontas dos ramos, morte descendente de ramos, folhas mais novas coriáceas e quebradiças, clorose internerval e menor produção de matéria seca, especialmente da parte aérea (Mengel e Kirkby, 1987; Cakmak e Marschner, 1993; Malavolta, et al. 1997, Epstein e Bloom, 2006).

O Zn atua também na manutenção da integridade das membranas biológicas (Cakmak e Marschner, 1990). Em plantas deficientes em Zn ocorre o aumento da permeabilidade das membranas (Cakmak e Marschner, 1988; Kaya e Higgs, 2001) favorecendo o efluxo radicular de potássio (Cakmak e Marschner, 1988; Parker et al., 1992), aminoácidos e açúcares (Cakmak e Marschner, 1988).

O excesso de Zn afeta a absorção e translocação de magnésio e ferro pela inibição competitiva entre os cátions, pela similaridade entre o raio iônico do Zn^{2+} e Fe^{2+} e do Zn^{2+} e Mg^{2+} (Marschner, 1995). O excesso deste elemento também provoca inibição da fotossíntese pela redução da atividade da RuBP carboxilase/oxigenase (Rubisco), causada presumivelmente pela competição do zinco com o magnésio no sítio de ativação da Rubisco e pela diminuição da atividade do fotossistema II (PS II) em função do deslocamento de manganês pelo excesso de Zn na membrana do tilacóide (Misra e Ramani, 1991; Marschner, 1995; Fageria, 2001; Kaya e Higgs, 2001; Kaya et al., 2001). De maneira geral os sintomas de toxidez de Zn são caracterizados por redução no crescimento e clorose de folhas (Mengel e Kirkby, 1987; Fontes e Cox, 1998).

O Zn possui nítida importância na nutrição mineral do cafeeiro, porém existe pequena divergência entre os autores quanto à concentração ótima de Zn para o mesmo. Segundo Willson (1985) e Reuter e Robinson (1988) a faixa crítica para os teores de Zn nas folhas do cafeeiro varia de 15 a 30 $mg\ kg^{-1}$. Para Mills e Jones Jr. (1996) estes teores variam de 12 a 30 $mg\ kg^{-1}$. Malavolta et al. (1997) encontraram teores variando entre 15 a 20 $mg\ kg^{-1}$ e para Matiello (1997) os teores ótimos estão entre 10-20 $mg\ kg^{-1}$.

Martinez et al. (2004) avaliaram as faixas críticas de Zn em folhas de cafeeiros coletadas em quatro regiões do Estado de Minas Gerais e encontraram teores variando de 6 a 13 $mg\ kg^{-1}$ e de 12 a 30 $mg\ kg^{-1}$

respectivamente no limite inferior e superior da faixa crítica. Segundo os autores esta variação decorre das diferentes concentrações do nutriente na solução do solo. Quando a disponibilidade de nutrientes é mais elevada, a absorção é também maior que a exigência metabólica, havendo maior armazenamento dos nutrientes nos vacúolos. Em tal situação o nível crítico obtido será maior que em situações nas quais as características do solo determinam menor concentração do nutriente em solução.

O Zn é absorvido pelas raízes na forma de Zn^{+2} ou como parte de quelatos, sendo também possível sua absorção pelas folhas nas mesmas formas (Mello et al., 1999). Todavia não há um consenso a respeito da remobilização deste nutriente na planta.

Em experimentos com trigo Loneragan et al. (1987) e Marsh et al. (1985) observaram certa mobilidade de Zn. Ainda em plantas de trigo, Webb e Loneragan (1990) verificaram que o Zn se moveu das folhas para os grãos em desenvolvimento, mas não das folhas para as raízes, quando aplicado via foliar. Pearson e Rengel (1995) observaram translocação de Zn de raízes expostas a Zn para raízes que não foram expostas a este elemento.

Rodrigues et al. (1997) concluíram que o Zn é móvel no feijoeiro e que a determinação do dreno preferencial é em função do estado nutricional da planta. Ou seja, sob deficiência de Zn os meristemas vegetativos apresentam maior concentração deste nutriente que as folhas mais velhas.

Entretanto, alguns autores trabalhando com Zn marcado relatam baixa mobilidade de Zn na planta (Santa Maria e Cogliatti, 1988; Cakmak e Marschner, 1990). Mengel e Kirkby (1987) consideraram que a mobilidade do Zn nas plantas não é alta, uma vez que seu teor nos tecidos jovens é particularmente reduzido em condições de deficiência. Clarkson e Hanson (1980) atribuem a baixa mobilidade do Zn à pequena capacidade de ligação a quelatos aniônicos.

Alguns estudos realizados em cafeeiros também não subsidiaram um consenso quanto à mobilidade do Zn.

Pereira et al. (1963) estudaram a absorção e a transformação de moléculas orgânicas e elementos minerais no cafeeiro, utilizando materiais

radioativos e concluíram que o Zn se move no café em menor proporção que em outras plantas.

Malta et al. (2003) constataram que praticamente não houve translocação do Zn quando pulverizado na posição basal do cafeeiro, porém os autores observaram que quando pulverizado na posição apical ocorreu o transporte para a base, sugerindo então um transporte via floema. Todavia, Fávaro (1992) verificou que o Zn absorvido em folhas maduras não era distribuído para outras regiões da planta e que as folhas novas surgidas após as pulverizações apresentavam concentrações baixas de Zn, sugerindo a imobilidade deste elemento quando aplicado nas folhas do cafeeiro. Corroborando este resultado, Martinez et al. (2005) observaram que o Zn não se retranslocou da parte aérea para o sistema radicular e que pode ter ascendido de acordo com o fluxo transpiratório até a parte aérea via xilema, mas não ocorreu sua transferência para o floema, demonstrando que em cafeeiro o Zn apresenta retranslocação limitada ou até mesmo nula.

2.2.2. Inserção de substâncias no tronco de árvores

A inserção de substâncias no tronco de árvores vem sendo praticada desde o início do século XII, quando os árabes descreveram métodos para a introdução de substâncias sólidas em orifícios ou cortes nas plantas para aromatizar ou proporcionar qualidades medicinais aos frutos ou dar cor às flores. Depois, Leonardo da Vinci foi, aparentemente, o primeiro cientista a desenvolver uma metodologia experimental com a inserção de líquidos em árvores (Roach, 1939).

No século XX, numerosos trabalhos com inserção de substâncias no tronco foram realizados, visando o controle de patógenos (Phair e Ellmore, 1984; Pegg et al., 1990; Fernández-Escobar et al., 1999; Shearer e Fairman, 2007), pragas (Wene et al., 1968; Dutcher et al., 1980; Fernández de Cordova e Gallego, 1997) e desordens nutricionais (Reil e Beutel, 1976; Fernández-Escobar et al., 1993).

O produto aplicado no tronco das árvores penetra e se move pelos tecidos condutores da planta desde o ponto de entrada até as folhas,

impulsionado pela corrente transpiratória (Fernández de Cordova e Gallego, 1997).

Como método de fornecimento de nutrientes a inserção no tronco foi testada em várias culturas: ferro em abacateiro (Kadman e Cohen, 1974), em pereira (Raese e Parish, 1984), em oliveira e pessegueiro (Fernández-Escobar et al., 1993) e em pessegueiro e pereiras (Larbi et al., 2003), e boro e nitrogênio em abacateiro (Lovatt, 1994). Na maioria dos casos, soluções com os nutrientes foram injetadas sobre pressão no tronco das árvores e em alguns casos o suplemento de nutrientes foi através do implante de comprimidos com sais do elemento.

A injeção no tronco quando comparada com a pulverização foliar possui como uma das vantagens um maior tempo de duração na correção da deficiência.

Raese et al. (1986) estudaram o fornecimento por pulverização foliar e pela injeção no tronco de compostos de ferro numa tentativa de reduzir ou corrigir a clorose férrica em macieiras e pereiras. Os autores concluíram que tanto o fornecimento via injeção no tronco quanto à pulverização foliar reduziram a clorose, entretanto, a pulverização foliar teve curta duração enquanto a injeção no tronco corrigiu a clorose por mais tempo (3 a 4 anos). Resultados semelhantes foram observados por Hurley et al. (1986) onde injeções de sulfato de ferro corrigiram a clorose em macieiras, todavia os autores observaram que a aplicação das injeções deve ser repetida a cada 3 anos.

Worley et al. (1976) estudaram o fornecimento de Zn através da injeção de soluções de sulfato de zinco no tronco de noqueira-pecã. Foi observado um rápido aumento dos teores foliares de Zn nas árvores deficientes neste nutriente indicando ser as soluções facilmente translocadas para as folhas e a técnica promissora para a rápida correção de Zn.

Navrot e Banin (1982) forneceram Zn em comprimidos de Zn-bentonita inseridas no tronco de macieiras e concluíram ser esse um método eficiente e rápido na correção da deficiência de Zn e na manutenção dos teores ótimos deste elemento nas árvores.

2.3. MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1. Localização da área experimental e condução dos experimentos

Para a avaliação do conteúdo foliar de Zn de cafeeiros submetidos a diferentes formas e doses de fornecimento do elemento, dois experimentos foram instalados e conduzidos em áreas da Universidade Federal de Viçosa, situada à 581m de altitude, 20° 45' Sul e 42° 51' Oeste. O solo das áreas experimentais é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima é do tipo Cwa segundo Köppen com temperatura e precipitação médias anuais de 19,4°C e 1.221,4 mm, respectivamente.

Em ambos os experimentos, em toda área, no decorrer do período experimental, foram aplicados tratos culturais e fitossanitários comuns em uma lavoura de café.

A calagem e a adubação foram realizadas com base em análises de solos e nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Guimarães et al., 1999).

Em todas as parcelas, independentemente dos tratamentos, foram realizadas pulverizações foliares, constituídas dos adubos: oxicloreto de cobre; ácido bórico e cloreto de potássio aplicados nas concentrações de 0,4; 0,4 e 0,5% respectivamente.

Para determinação do conteúdo foliar de Zn foram coletadas folhas novas no ápice dos ramos produtivos em altura mediana nas plantas.

As folhas coletadas foram lavadas em água deionizada e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C, por 72 horas, obtendo-se o peso da matéria seca. As concentrações de Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975) no extrato da digestão nítrico-perclórica (Johnson e Ulrich, 1959). Para o cálculo do conteúdo foliar de

Zn, o peso da matéria seca total (g) das folhas por parcela foi dividido pelo número de folhas amostradas (36) e multiplicado pela concentração de Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$) resultante da digestão nítrico perclórica, obtendo-se o conteúdo foliar de Zn (μg).

2.3.1.1. Experimento 1

O experimento foi instalado na área de pesquisa denominada como "Agronomia Vale" na Universidade Federal de Viçosa, no dia 29 de outubro de 2003 e avaliado até junho de 2005, em uma lavoura de café de seis anos de idade.

O ensaio foi analisado segundo um esquema fatorial 3x4 sendo o primeiro fator três formas de fornecimento de Zn (T0 - testemunha, sem fornecimento de Zn; T1 - pulverização foliar de ZnSO_4 a 0,4%; T2 - combinação de sais 1 - com 1,80g de sais de Zn) e o segundo fator constituído de quatro cultivares de *Coffea arabica* L. (Acaiá IAC-474-19, Icatu Amarelo IAC-3282, Rubi MG-1192 e Catuaí Vermelho IAC-99). O delineamento utilizado foi o em blocos casualizados com três repetições, totalizando 36 parcelas. Cada parcela foi constituída de 25 plantas, em espaçamento de 2x1 m dispostas em cinco fileiras, ocupando uma área de 50 m². Consideraram-se como parcela útil duas plantas dispostas no centro das três fileiras centrais da parcela.

As pulverizações com sulfato de zinco foram realizadas na ocasião da inserção das cápsulas e instalação do experimento (29/10/2003) e aos 82, 184, 317, 378 e 454 dias após a instalação do experimento.

A combinação de sais de Zn foi fornecida via comprimidos implantados na haste ortotrópica do cafeeiro a 10 cm de altura em relação à superfície do solo. O comprimido foi alocado na região do alburno, haja vista a baixa translocação do Zn no floema. Os comprimidos foram elaborados e fornecidos pelo grupo de pesquisa do setor de nutrição mineral de plantas da Estación Experimental Aula Dei, Zaragoza, Espanha.

As amostras foliares para análise química de Zn foram coletadas aos 6, 14, 30, 43, 76, 89, 96, 111, 125, 154, 195, 203, 217, 238, 328, 336, 350, 365, 385, 392, 406, 453, 477, 497 e 537 dias após a instalação do experimento.



Figura 1. Inserção dos comprimidos contendo sais de Zn no tronco do cafeeiro.

As características químicas do solo no início do experimento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química da camada de 0-20 cm do solo da área experimental 1

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	
H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³								-----%	
4,4	10,36	116	1,2	0,4	0,6	4,07	1,93	2,53	6,0	33	23	

*Análises realizadas segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1997).

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich 1; Ca, Mg, Al - Extrator KCL 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0; B - Extrator água quente; SB - Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio.

2.3.1.2. Experimento 2

O trabalho foi conduzido em uma lavoura de *Coffea arabica* L. cv Catuaí Vermelho IAC-99, com 10 anos de idade, na área de pesquisa denominada "Agronomia Aeroporto" na Universidade Federal de Viçosa, no período de novembro de 2006 a fevereiro de 2009. As características físicas e químicas do solo ao início do experimento estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição físico-química da camada de 0-20 cm do solo da área experimental

Análise Granulométrica (g kg ⁻¹)																	
Argila 380		Silte 100		Areia Grossa 190			Areia Fina 330			Classificação Textural Argilo Arenosa							
Análise Química																	
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B
H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							---%---		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				
5,5	2,9	60	1,9	1,0	0,1	3,80	3,05	3,15	6,85	45	3	14,6	2,0	39,3	7,7	1,0	0,63

*Análises realizadas segundo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1997).
pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca, Mg, Al - Extrator KCL 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0; B - Extrator água quente; SB - Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; Matéria Orgânica (MO) = Carbono Orgânico x 1,724 - Walkley-Black.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 6 tratamentos (T0, T1, T2, T3, T4 e T5) e 3 repetições. Cada parcela foi constituída de 33 plantas, em espaçamento de 3x1m dispostas em três fileiras. Consideraram-se como parcela útil nove plantas dispostas na fileira central da parcela.

Os tratamentos estudados foram:

- T0 - testemunha, sem fornecimento de Zn;
- T1.- pulverização foliar com ZnSO₄ a 0,4%;
- T2 - combinação de sais 1 - comprimido com 1,8g de sais de Zn;
- T3 - combinação de sais 2 - comprimido com 0,5g de sais de Zn;
- T4 - combinação de sais 2 - comprimido com 1,0g de sais de Zn;
- T5 - combinação de sais 2 - comprimido com 3,0g de sais de Zn.

A quantidade de Zn fornecida pela maior dose de sais (3,0g) da combinação 2 é de 0,25g de Zn.

Os teores de Zn nos quatro lados da planta e nas diferentes alturas do caule foram analisados segundo um esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os lados da planta ou as alturas do caule, no delineamento em blocos casualizados com três repetições.

As pulverizações com sulfato de zinco foram realizadas no dia 24/11/2006, ocasião da inserção dos comprimidos e instalação do experimento e aos 98, 145, 340, 388 e 453 dias após o início do experimento.

As combinações de sais 1 e 2 foram fornecidas na forma de comprimidos inseridos no ramo ortotrópico do cafeeiro a 10 cm da superfície do solo.

Os comprimidos com a combinação de sais 1 foram elaborados e fornecidos pelo grupo de pesquisa do setor de nutrição mineral de plantas da Estación Experimental Aula Dei, Zaragoza, Espanha. Os com a combinação de sais 2 foram elaborados pelo Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

As amostras foliares para análise química de Zn foram coletadas aos 0, 18, 66, 104, 119, 151, 383, 393, 448 e 524 dias após o início do experimento.

Aos 749 dias após a implantação dos tratamentos foram coletadas folhas do terceiro e quarto pares de ramos produtivos, nos quatro lados do cafeeiro (norte, sul, leste e oeste) dos tratamentos onde o fornecimento de Zn foi realizado pela inserção de comprimidos no tronco. As amostras foliares foram encaminhadas ao laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia para determinação do teor de Zn.

Foi coletada uma planta por parcela, a qual teve o ramo ortotrópico dividido em quatro alturas (15, 55, 95 e 135 cm de altura em relação à superfície do solo) com posterior análise dos teores de Zn. A coleta foi realizada ao final do experimento aos 819 dias após a implantação do mesmo.

As folhas e os segmentos de caule foram lavados em água desionizada, submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C, até pesos constantes e triturados em moinho tipo Willey. As concentrações de Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975) no extrato da digestão nítrico-perclórica (Johnson e Ulrich, 1959).

2.3.3. Estatística

Os dados do conteúdo foliar de Zn dos experimentos 1 e 2 foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. No experimento 1, independentemente da interação ter sido ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse em estudo. No experimento 2, os dados do conteúdo foliar

de Zn em função das doses de sais de Zn empregadas e o teor de Zn no caule em função da altura amostrada foram submetidos às análises de variância e regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no significado biológico, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t e adotando-se o nível de até 5% de probabilidade e no coeficiente de determinação ($R^2 = \frac{SQ_{Regressão}}{SQ_{Tratamento}}$).

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1. Experimento 1

Por ocasião da instalação do experimento, foram observados sintomas visuais de deficiência de Zn. As plantas apresentavam teores médios semelhantes e de 12,28; 11,54; 11,90 e 12,11 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Zn para as cultivares Acaiá, Icatu, Rubi e Catuaí respectivamente.

Quando a taxa de crescimento relativo da matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente ocorre a diluição da concentração do nutriente, fato que é amplamente relatado na literatura (Jarrell e Beverly, 1981), impedindo que se observem diferenças quando se avalia apenas o teor foliar. Considerando que um dos sintomas de deficiência do Zn é a redução do tamanho da folha (Malavolta, et al. 1997; Epstein e Bloom, 2006), optou-se por avaliar o conteúdo foliar de Zn nos diferentes tratamentos.

Em todas as amostragens onde foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as médias, o tratamento sem fornecimento de Zn (T0) resultou no menor conteúdo foliar de Zn nas folhas novas, quando comparado aos demais tratamentos, nas quatro cultivares avaliadas (Tabela 3).

Quanto ao tratamento pulverizado (T1), verifica-se que os conteúdos foliares de Zn aumentaram logo após as pulverizações, com posterior queda e restabelecimento na pulverização seguinte (Tabela 3 e Figura 3). A adubação foliar com Zn, que é absorvido rapidamente pelas folhas, tem efeito de curta duração, pois este elemento tem mobilidade limitada na planta (Fávaro et al., 1990). Desta forma, o elemento aplicado na folha poderá corrigir a deficiência somente naquelas que o recebem, as que se formam mais tarde poderão mostrar novo sintoma de falta demandando assim um maior número de aplicações (Malavolta, 1981).

No tratamento em que o fornecimento de Zn foi através da inserção do comprimido no tronco (T2), o maior conteúdo foliar de Zn, na cultivar Acaia, ocorreu aos 30 dias após o início do experimento, mantendo-se, nas demais amostragens, superior ou não se diferenciando dos T0 e T1 (Tabela 3). Somente aos 385 dias após a implantação do comprimido o T2 foi inferior ao T1, provavelmente em função da pulverização foliar com $ZnSO_4$ ocorrida aos 378 dias.

A cultivar Rubi apresentou conteúdos foliares de Zn no T2 superiores às dos demais tratamentos já aos 14 dias após a inserção do comprimido, mantendo-se com os maiores conteúdos foliares aos 30, 111, 125 e 477 dias após o início do experimento (Tabela 3). Esta cultivar apresentou conteúdos foliares no T2 inferiores ao T1 somente aos 6, 328 e 385 dias, sendo estas amostras coletadas em torno de uma semana após as pulverizações.



Figura 2. Ramo plagiotrópico do cafeeiro com folhas deficientes em Zn e folhas jovens normais crescidas um mês após a inserção no caule do comprimido com sais de Zn.

Apesar da cultivar Catuaí apresentar menor frequência de diferenças significativas entre os tratamentos, observa-se o mesmo comportamento apresentado pela cultivar Rubi, na qual o conteúdo foliar de Zn do T2 foi semelhante ao do T1, sendo inferior apenas após as pulverizações (Tabela 3).

O T2, na cultivar Icatu, somente foi superior aos demais aos 154 dias após o início do experimento e em nenhuma amostragem o T2 foi superior ao tratamento pulverizado (T1) (Tabela 3).

Observa-se que aos 14 dias após a implantação do comprimido os conteúdos foliares de Zn nas cultivares Icatu e Rubi no T2 foram aproximadamente três vezes maiores que o conteúdo do T1 (Tabela 3). Deve-se ressaltar que o conteúdo foliar é em função da matéria seca da folha e do teor foliar. Neste caso, o aumento observado foi resultado do teor foliar que para as cultivares Icatu e Rubi foram de 48 e 54 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente. Na literatura encontra-se que para o limite superior da faixa crítica o teor foliar de Zn é de 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Willson, 1985; Reuter e Robinson, 1988; Martinez et al., 2004). Isso indica que o fornecimento de Zn pelo comprimido pode ter sido excessivo no início do experimento, voltando a níveis adequados aos 30 dias após a inserção.

Quando comparadas as cultivares dentro dos tratamentos em cada tempo destaca-se o tratamento onde o fornecimento do Zn foi via comprimidos inseridos no caule (T2), em que a cultivar Icatu apresentou os menores conteúdos foliares de Zn (Tabela 4). Esta cultivar, dentre as avaliadas neste trabalho, é a única obtida a partir de uma hibridação entre o *Coffea canephora* e uma planta do cultivar Borbon de *C. arabica* (Fazuoli, 1986). É possível que o menor conteúdo foliar observado nesta cultivar se deva à menor translocação do Zn no caule desses cafeeiros. Reis Jr e Martinez (2002), comparando dois cultivares de café, *Coffea arabica* cv. Catuaí e *Coffea canephora* cv. Conilon, observaram que a eficiência de translocação de Zn na cultivar Conilon foi menor que na cultivar Catuaí.

Tabela 3 - Médias de conteúdo foliar de Zn (μg) em quatro cultivares de café submetidas a três formas de fornecimento de Zn (T0 - sem fornecimento de Zn; T1 - fornecimento via pulverização foliar com ZnSO_4 a 0,4% e T2 - inserção de comprimido com sais de Zn no caule do cafeeiro), dos 6 aos 537 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)⁽¹⁾

DIAS	ACAIÁ			ICATU			RUBI			CATUAÍ			CV (%)
	T=0	T=1	T=2	T=0	T=1	T=2	T=0	T=1	T=2	T=0	T=1	T=2	
6	1,11a	1,34a	1,13a	1,07a	1,22a	1,24a	1,23ab	1,48a	0,95b	1,28a	1,49a	1,52a	20,2
14	1,23a	1,81a	2,68a	1,30a	1,50a	4,37a	1,60b	1,94b	6,22a	1,60a	1,51a	3,34a	79,9
30	1,24ab	1,10b	1,64a	1,13a	1,15a	1,52a	1,42b	1,38b	2,21a	1,19b	1,08b	2,02a	21,39
43	1,66b	1,58b	2,16a	1,51a	1,44a	1,91a	1,90a	2,03a	2,06a	1,53a	1,71a	2,03a	15,9
76	7,81a	7,26a	8,13a	6,33a	6,42a	8,26a	6,79a	6,72a	8,35a	6,16a	8,10a	7,32a	22,8
89	1,47b	1,49b	1,97a	1,26b	2,02a	1,52b	1,57a	1,75a	1,74a	1,46b	1,96a	1,73ab	14,3
96	2,88b	4,19a	3,38ab	2,74a	3,44a	3,00a	2,97a	3,89a	3,04a	3,00a	3,37a	3,56a	16,5
111	1,35a	1,65a	1,58a	1,17a	1,46a	1,66a	1,07b	1,58a	1,63a	1,25a	1,69a	1,56a	19,3
125	1,47b	1,59b	2,06a	1,73a	1,79a	1,63a	1,89ab	1,47b	2,14a	1,67a	1,64a	2,01a	14,1
154	2,13a	1,39a	2,36a	1,81b	2,35ab	3,08a	2,21a	1,90a	2,81a	2,05a	2,36a	2,16a	26,1
195	1,10b	2,65a	2,02ab	2,28ab	2,60a	1,44b	1,35a	3,36a	1,65a	1,44a	2,02a	1,59a	28,7
203	1,26a	1,45a	1,28a	0,98b	1,67a	1,41ab	1,13a	1,38a	1,43a	1,19a	1,46a	1,28a	19,8
217	0,70a	1,06a	0,99a	0,66a	1,16a	0,82a	1,34a	1,20a	1,21a	0,86b	1,91a	1,25b	26,5
238	0,86b	1,45a	1,14ab	0,99a	1,08a	1,12a	1,22a	1,43a	1,40a	0,91a	1,31a	1,14a	20,4
328	1,38b	2,45ab	3,85a	1,70a	2,96a	1,15a	1,53b	4,07a	1,51b	1,84a	2,27a	2,07a	53,0
336	1,10a	1,50a	1,13a	1,16a	1,90a	0,89a	1,25a	1,74a	1,08a	1,17a	1,32a	2,17a	10,6
350	0,87a	1,52a	1,10a	0,94b	2,13a	0,94b	1,33a	1,82a	1,10a	0,98a	1,33a	1,26a	39,5
365	0,67a	0,76a	0,73a	0,68a	0,82a	0,58a	0,65a	0,71a	0,86a	0,60b	0,54b	2,48a	104,0
385	1,15b	2,36a	1,30b	1,01a	1,39a	1,05a	1,20b	1,91a	1,36b	1,08b	1,82a	1,22b	21,2
392	1,27a	2,10a	1,57a	1,27b	1,83ab	2,62a	1,85a	1,91a	1,75a	1,51a	1,08a	1,49a	36,9
406	1,99a	1,89a	2,05a	1,48a	1,62a	1,77a	1,70a	1,97a	1,69a	1,48a	1,79a	1,72a	27,3
453	1,40a	1,94a	1,93a	1,60a	1,42a	1,75a	1,41a	1,55a	1,88a	1,52a	1,95a	1,83a	22,0
477	1,82a	2,06a	1,86a	1,60a	2,00a	1,56a	1,37b	1,73ab	2,54a	1,85a	2,30a	1,93a	26,9
497	1,31b	1,48ab	1,92a	1,87a	1,44a	1,51a	1,71a	1,59a	1,82a	1,74a	1,67a	1,76a	18,7
537	1,94a	1,89a	2,04a	2,30a	1,69a	1,04a	2,01a	1,77a	1,72a	1,46a	1,98a	1,62a	41,3

⁽¹⁾ Dentro de cada data e de cada cultivar, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

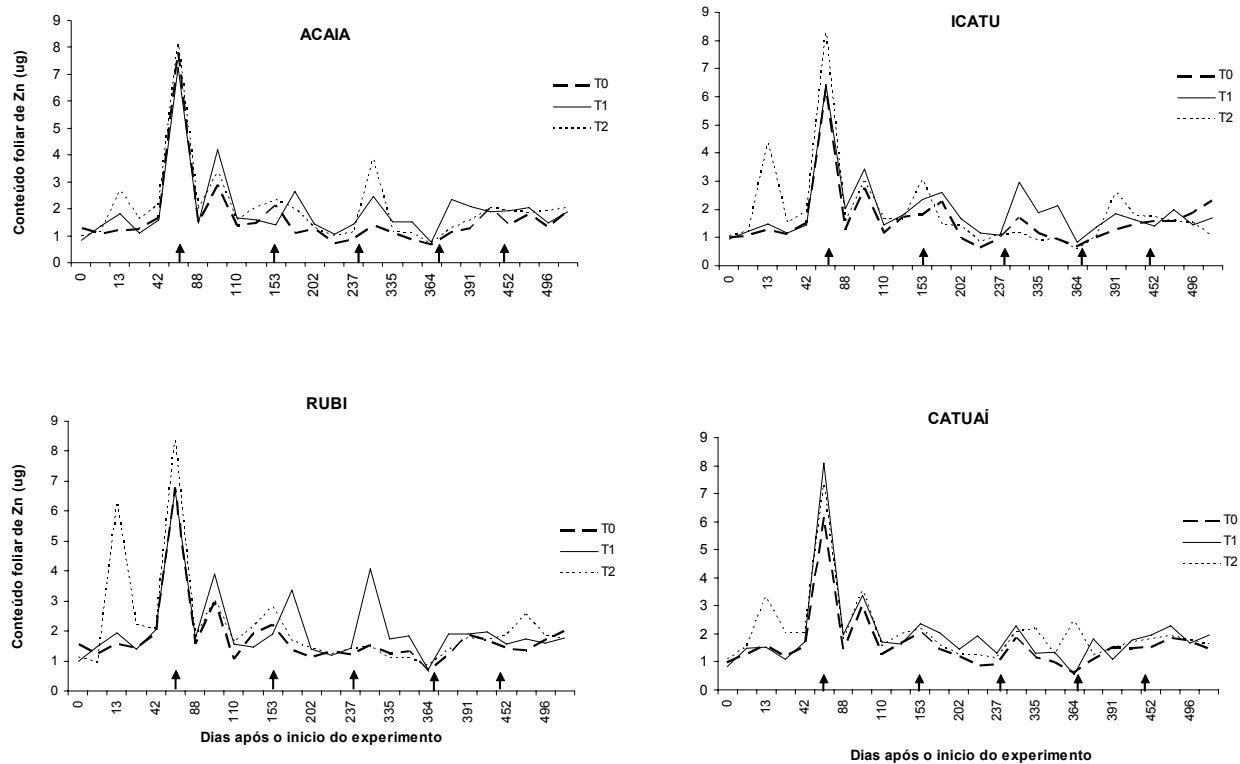


Figura 3. Conteúdo foliar de Zn (μg) de cafeeiros, ao longo do período experimental, dos tratamentos sem fornecimento de Zn (T0), pulverização foliar de ZnSO_4 a 0,4% (T1) e combinação de sais 1 - com 1,80g de sais de Zn (T2) nas quatro variedades estudadas.

↑ - Pulverizações

Tabela 4 - Médias de conteúdo foliar de Zn (μg) em folhas jovens de quatro cultivares de cafeeiros, submetidas a três formas de fornecimento do elemento dos 6 aos 537 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)⁽¹⁾

DIAS	Sem Fornecimento Zn - T0				Pulverização Foliar Zn - T1				Fornecimento via Comprimidos -T2				CV (%)
	Acaiá	Icatu	Rubi	Catuai	Acaiá	Icatu	Rubi	Catuai	Acaiá	Icatu	Rubi	Catuai	
6	1,11a	1,07a	1,23a	1,28a	1,34a	1,22a	1,48a	1,49a	1,13ab	1,24ab	0,95b	1,52a	20,2
14	1,23a	1,30a	1,60a	1,60a	1,81a	1,50a	1,94a	1,51a	2,68a	4,37a	6,22a	3,34a	79,9
30	1,24a	1,13a	1,42a	1,19a	1,10a	1,15a	1,38a	1,08a	1,64b	1,52b	2,21a	2,02ab	21,3
43	1,66a	1,51a	1,90a	1,53a	1,58ab	1,44b	2,03a	1,71ab	2,16a	1,91a	2,06a	2,03a	16,0
76	7,81a	6,33a	6,79a	6,16a	7,26a	6,42a	6,72a	8,10a	8,13a	8,26a	8,35a	7,32a	22,8
89	1,47a	1,26a	1,57a	1,46a	1,49b	2,02a	1,75ab	1,96a	1,97a	1,52b	1,74ab	1,73ab	14,3
96	2,88a	2,74a	2,97a	3,00a	4,19a	3,44a	3,89a	3,37a	3,38a	3,00a	3,04a	3,56a	16,5
111	1,35a	1,17a	1,07a	1,25a	1,65a	1,46a	1,58a	1,69a	1,58a	1,66a	1,63a	1,56a	19,2
125	1,47a	1,73a	1,89a	1,67a	1,59a	1,79a	1,47a	1,64a	2,06ab	1,63b	2,14a	2,01ab	14,1
154	2,13a	1,81a	2,21a	2,05a	1,39a	2,35a	1,90a	2,36a	2,36a	3,08a	2,81a	2,16a	26,1
195	1,10b	2,28a	1,35ab	1,44ab	2,65ab	2,60ab	3,36a	2,02b	2,02a	1,44a	1,65a	1,59a	28,7
203	1,26a	0,98a	1,13a	1,19a	1,45a	1,67a	1,38a	1,46a	1,28a	1,41a	1,43a	1,28a	19,8
217	0,70b	0,66b	1,34a	0,86ab	1,06b	1,16b	1,20b	1,91a	0,99a	0,82a	1,21a	1,25a	26,5
238	0,86a	0,99a	1,22a	0,91a	1,45a	1,08a	1,43a	1,31a	1,14a	1,12a	1,40a	1,14a	20,4
328	1,38a	1,70a	1,53a	1,84a	2,45a	2,96a	4,07a	2,27a	3,85a	1,15b	1,51b	2,07ab	53,0
336	1,10a	1,16a	1,25a	1,17a	1,50a	1,90a	1,74a	1,32a	1,13a	0,89a	1,08a	2,17a	10,6
350	0,87a	0,94a	1,33a	0,98a	1,52a	2,13a	1,82a	1,33a	1,10a	0,94a	1,10a	1,26a	39,5
365	0,67a	0,68a	0,65a	0,60a	0,76a	0,82a	0,71a	0,54a	0,73b	0,58b	0,86b	2,48a	104,0
385	1,15a	1,01a	1,20a	1,08a	2,36a	1,39b	1,91ab	1,82b	1,30a	1,05a	1,36a	1,22a	21,2
392	1,27a	1,27a	1,85a	1,51a	2,10a	1,83a	1,91a	1,08a	1,57a	2,62a	1,75a	1,49a	36,9
406	1,99a	1,48a	1,70a	1,48a	1,89a	1,62a	1,97a	1,79a	2,05a	1,77a	1,69a	1,72a	27,3
453	1,40a	1,60a	1,41a	1,52a	1,94a	1,42a	1,55a	1,95a	1,93a	1,75a	1,88a	1,83a	22,1
477	1,82a	1,60a	1,37a	1,85a	2,06a	2,00a	1,73a	2,30a	1,86ab	1,56b	2,54a	1,93ab	26,9
497	1,31a	1,87a	1,71a	1,74a	1,48a	1,44a	1,59a	1,67a	1,92a	1,51a	1,82a	1,76a	18,7
537	1,94a	2,30a	2,01a	1,46a	1,89a	1,69a	1,77a	1,98a	2,04a	1,04a	1,72a	1,62a	41,3

⁽¹⁾ Dentro de cada data e de cada forma de fornecimento, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

2.4.2. Experimento 2

Ao início do experimento o teor de Zn no solo era de $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$, considerado baixo por Guimarães et al. (1999) e os conteúdos foliares de Zn não diferiram estatisticamente (Tabelas 2 e 5).

Quando comparados os conteúdos foliares de Zn entre os tratamentos estudados, observa-se que aos 18 dias após o início do experimento, o tratamento onde o fornecimento de Zn foi através da pulverização foliar de ZnSO_4 (T1) apresentou conteúdo foliar superior aos demais tratamentos (Tabela 5). Dentre os tratamentos onde o fornecimento de Zn foi pela inserção do comprimido no tronco, o tratamento com a combinação de sais 1 - com 1,8g (T2) apresentou conteúdo foliar superior ao tratamento testemunha - sem fornecimento de Zn (T0).

Aos 66 dias após o início do experimento, verifica-se que o conteúdo foliar de Zn do T2 foi superior aos demais tratamentos, indicando que o comprimido continuou a fornecer Zn para o cafeeiro, enquanto que no T1, os conteúdos foliares não diferiram aos do T0 (Tabela 5).

Aos 104 dias após a instalação dos tratamentos e 6 dias após a segunda pulverização, o T1 tornou a apresentar conteúdo foliar superior aos demais tratamentos (Tabela 5). Nesta amostragem, observa-se que o T2 continuou apresentando conteúdo foliar superior ao T0 e os tratamentos com a combinação de sais 2 com 1,0 e 3,0g (T4 e T5 respectivamente) também apresentaram conteúdos foliares superiores ao T0, indicando um possível início de fornecimento de Zn nestes tratamentos.

Aos 119 dias após o início do experimento e 21 dias após a segunda pulverização de ZnSO_4 no T1, verifica-se que os tratamentos se comportaram de forma semelhante a observada na amostragem realizada aos 104 dias (Tabela 5).

Na amostragem realizada aos 151 dias após a instalação, nota-se que o conteúdo foliar de Zn no T1 foi superior aos demais tratamentos provavelmente em função da terceira pulverização foliar de ZnSO_4 realizada 6 dias antes da coleta das folhas (Tabela 5).

Todos os tratamentos em que o fornecimento de Zn foi mediante comprimidos inseridos no tronco apresentaram conteúdos foliares superiores ao T0, indicando que estes continuaram a fornecer Zn ao cafeeiro aos 151 dias após a inserção do comprimido (Tabela 5). Dentre estes tratamentos, o tratamento com a combinação de sais 2 com 0,5g (T3) foi o que alcançou o maior conteúdo foliar. Verifica-se que este foi o que, até então, tinha apresentado conteúdo foliar de Zn semelhante ao T0, sugerindo ser o T3 o mais lento no fornecimento de Zn ao cafeeiro.

Nas amostras coletadas aos 383 e 393 dias após o início do experimento (43 dias após a terceira pulverização e 5 dias após a quarta pulverização, respectivamente) o T1 se destacou com o maior conteúdo foliar de Zn (Tabela 5).

Aos 448 dias após a inserção dos comprimidos o conteúdo foliar de Zn do T2 foi superior aos demais tratamentos. Observa-se que os conteúdos dos T1 e T0 foram semelhantes (Tabela 5). Esta coleta foi realizada 60 dias após a quarta pulverização.

Tabela 5 - Conteúdo foliar de Zn (μg) em folhas jovens de cafeeiro submetidos aos tratamentos: sem fornecimento de Zn (T0); fornecimento de Zn via pulverização foliar de ZnSO_4 (T1); combinação de sais 1 - comprimido com 1,8g de sais de Zn (T2); combinação de sais 2 - comprimido com 0,5g de sais de Zn (T3); combinação de sais 2 - comprimido com 1,0g de sais de Zn (T4); combinação de sais 2 - comprimido com 3,0g de sais de Zn (T5) dos 0 aos 524 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV) ⁽¹⁾

Tratamento	Dias após o início do experimento									
	0	18	66	104	119	151	383	393	448	524
T0	0,66a	0,68c	1,26b	0,98c	0,88c	0,41d	1,67b	2,18b	2,65b	2,64ab
T1	0,83a	2,08a	1,47b	5,55a	2,22a	2,49a	2,80a	4,57a	2,59b	2,28bc
T2	0,62a	1,13b	1,88a	1,21b	1,37b	0,77c	1,84b	2,42b	4,75a	2,27bc
T3	0,90a	0,78bc	1,43b	0,97c	0,92c	1,24b	1,59b	2,34b	3,00b	2,73a
T4	1,09a	1,05bc	1,43b	1,08b	1,27bc	0,84c	1,72b	2,34b	2,91b	2,18c
T5	0,86a	0,75c	1,48b	1,24b	1,19bc	0,75c	1,87b	2,34b	2,95b	2,43abc
CV (%)	42,0	60,1	35,2	55,7	36,6	41,0	74,9	26,4	70,5	30,3

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% probabilidade

O T1 apresentou conteúdo foliar de Zn superior aos demais tratamentos na maioria das avaliações posteriores ao início do experimento (Tabela 5).

Entretanto, deve-se considerar que parte do Zn aplicado via foliar, pode ficar adsorvido a cargas negativas da cutícula (Schönherr e Huber, 1977), e na análise química de Zn, é quantificado todo o Zn presente na folha, mesmo aquele que está localizado externamente. A adsorção na superfície e a penetração de íons através da cutícula, a qual cobre a superfície das folhas, são pré-requisitos para a absorção ativa de íons por suas células (Yamada et al., 1964). Ademais, o Zn fornecido pelos comprimidos na base do tronco do cafeeiro, ao ascender para a parte aérea, pode ficar retido nas paredes do xilema. As paredes dos vasos do xilema possuem grupos carboxílicos carregados negativamente que se ligam fortemente a cátions divalentes, dificultando seu transporte (Grusak et al, 1999).

A análise dos tecidos do caule do cafeeiro, aos 819 dias após o início do experimento, em diferentes alturas em relação à superfície do solo (15, 55, 95 e 135 cm) mostrou que nos tratamentos onde o fornecimento de Zn foi via comprimidos inseridos no tronco as concentrações de Zn na base do caule (15 cm) foram maiores do que nos T0 e T1 (Tabela 6).

Tabela 6 - Teor de Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$) em amostras tomadas a diferentes alturas no caule (15, 55, 95 e 135 cm de altura em relação à superfície do solo) de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn⁽¹⁾

TRATAMENTOS	15 cm	55 cm	95 cm	135 cm
Sem Zn (T0)	8,10c	6,10a	5,40a	4,49a
Pulverizado (T1)	6,16c	6,07a	6,38a	10,47a
Combinação 1 - 1,8g (T2)	26,85bc	9,96a	7,23a	4,10a
Combinação 2 - 0,5g (T3)	86,90a	9,75a	4,41a	6,38a
Combinação 2 - 1,0g (T4)	102,99a	11,86a	7,19a	5,25a
Combinação 2 - 3,0g (T5)	41,95b	4,97a	5,50a	8,77a
Coeficiente de Variação (%)			96,3	

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 5% probabilidade

Quando verificado o teor de Zn no caule em função das quatro alturas amostradas (15, 55, 95 e 135 cm), observa-se que o T0 apresentou um comportamento linear, no qual o teor de Zn decresce à medida que as amostras se aproximam do ápice da planta (Figura 4A). Este resultado

confirma os observados por Klepper e Kaufmann (1966) que, medindo o potencial osmótico dos exsudatos colhidos do caule e das folhas em diferentes locais da planta, observaram que o potencial osmótico decresce à medida que a seiva xilemática é coletada em partes mais altas da planta. Ou seja, a concentração de solutos na seiva decresce à medida que ela se desloca para a parte aérea.

Já os tratamentos onde o fornecimento de Zn foi via inserção de comprimidos no caule seguiram o modelo Linear Response Plateau, mostrando um teor maior na base do caule, decrescendo até as alturas 64,09; 57,26; 57,48; e 52,66 cm para os T2, T3, T4 e T5 respectivamente. A partir destas o teor de Zn manteve-se constante até maiores alturas (Figuras 4C, 4D, 4E e 4F).

O maior teor de Zn observado na base do caule destes tratamentos é, provavelmente, resultado da inserção do comprimido. A redução observada no teor de Zn do caule, em média aos 57,87 cm, possivelmente decorre do fato de ser esta altura a porção do tronco onde se inserem ramos plagiotrópicos maiores, mais ramificados e com maior produção, conseqüentemente com maior demanda por nutrientes. Huerta (1963) cita que na época da produção, os teores de nutrientes na folha do cafeeiro são mais baixos devido à redistribuição das reservas das folhas até os frutos em crescimento. Considerando que o acúmulo de Zn no caule pode ser uma forma de reserva de Zn na planta, podendo ser remobilizado em condição de maior requerimento do elemento (Pearson e Rengel, 1994), é provável que tenha ocorrido a remobilização do caule para os frutos nestes tratamentos. Vale ressaltar que o caule foi amostrado na fase de enchimento dos grãos de café.

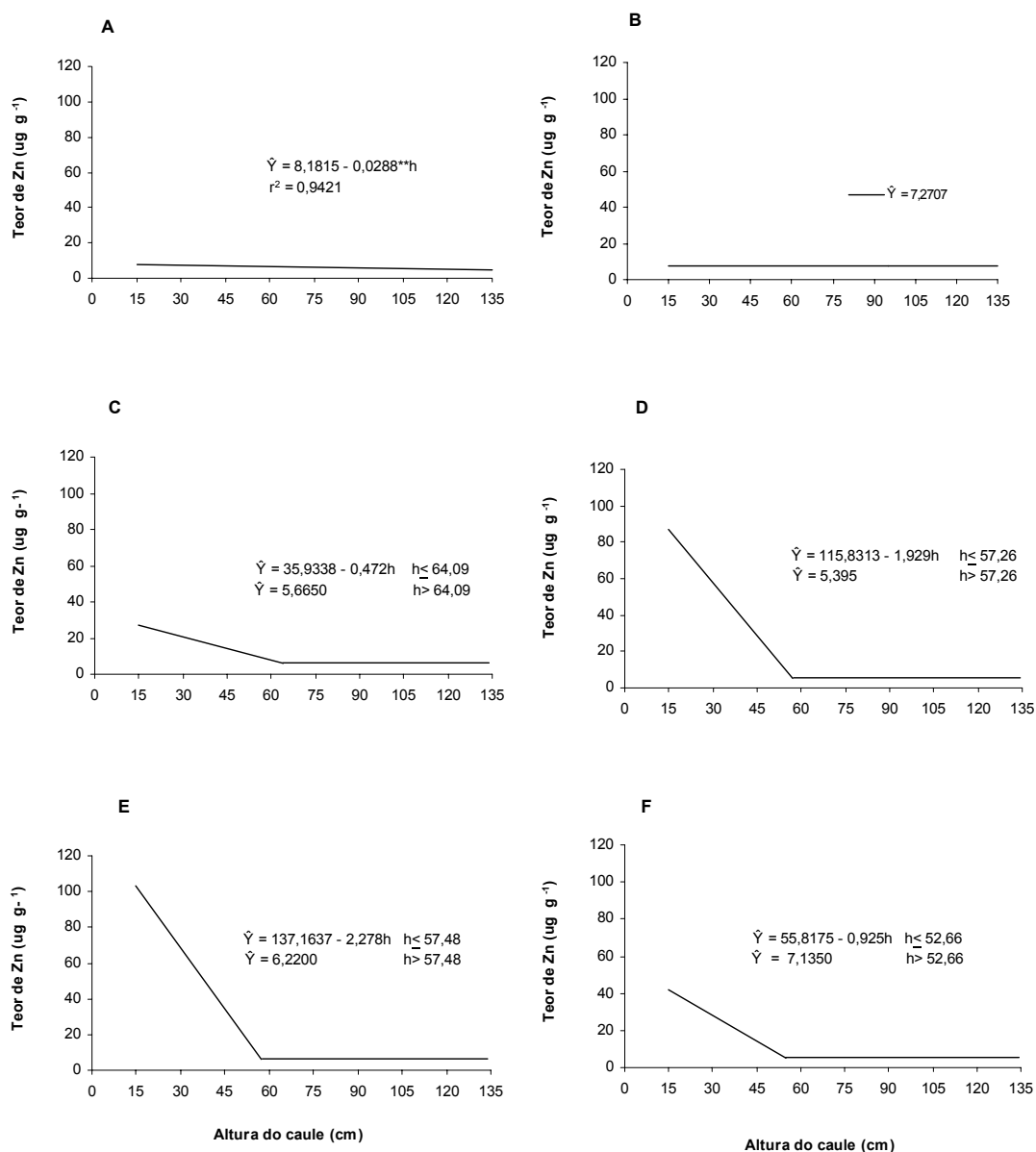


Figura 4 - Estimativa do teor de Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$) do ramo ortotrópico de cafeeiros, coletados aos 819 dias após o início do experimento, dos tratamentos sem fornecimento de Zn (A), fornecimento via pulverização foliar de ZnSO_4 (B), combinação de sais 1 - comprimido com 1,8g de sais de Zn (C), combinação de sais 2 - comprimido com 0,5g de sais de Zn (D), combinação de sais 2 - comprimido com 1,0g de sais de Zn (E) e combinação de sais 2 - comprimido com 3,0g de sais de Zn (F) em função das alturas amostradas (cm).

** significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste "t"

Observa-se também que os conteúdos foliares de Zn do T1, aumentaram após as pulverizações, com posterior queda e restabelecimento na pulverização seguinte (Tabela 5). O Zn é classificado como parcialmente móvel ou pouco móvel, fazendo com que as folhas novas surgidas após as pulverizações apresentem concentrações baixas deste nutriente (Malavolta, 1980; Fávoro, 1992). Deve-se ressaltar que as amostras foram realizadas em folhas novas.

Já nos tratamentos em que o fornecimento de Zn foi pela inserção do comprimido no caule, os conteúdos foliares de Zn foram, na maioria das vezes, superiores ao T0 sugerindo maior regularidade no fornecimento do elemento (Tabela 5).

Dentre os tratamentos onde o fornecimento de Zn foi por meio da inserção de comprimidos no tronco, o T2 foi o que primeiro apresentou conteúdo foliar de Zn superior ao T0 mantendo-se superior na maioria das amostragens até os 448 dias após a inserção do comprimido no caule (Tabela 5). O último tratamento a apresentar conteúdos de Zn superior ao T0 foi o T3 aos 151 dias após o início do experimento.

Quando avaliadas as doses de sais de Zn da combinação 2 - 0; 0,5; 1,0 e 3,0g fornecidas pelos tratamentos T0, T3, T4 e T5 respectivamente, verifica-se que estas influenciaram significativamente no conteúdo foliar de Zn, na média das nove datas de amostragem, seguindo um modelo quadrático de resposta como apresentado na Figura 5. Esse comportamento mostra um aumento inicial no conteúdo foliar de Zn com o aumento da dose fornecida, passando por um máximo na dose 1,93g e decrescendo nas doses mais elevadas. O valor máximo estimado observado está próximo da dose fornecida pela composição 1 (1,8g) (T2).

Verifica-se na Tabela 5 que o tratamento com a combinação de sais 2 com 1,0g (T4), dose mais próxima da dose máxima estimada pelo modelo, somente se diferenciou do T2 nas coletas realizadas aos 66 e aos 448 dias após o início da implantação dos tratamentos. Esses resultados parecem indicar que a composição de sais de Zn 1 teve um comportamento muito próximo ao da composição 2.

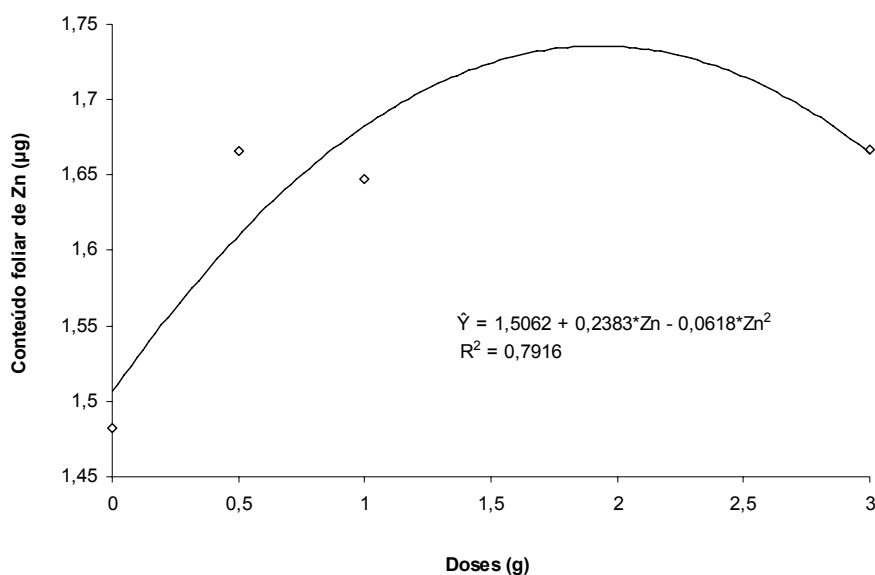


Figura 5 - Estimativa do conteúdo foliar de Zn (μg) de cafeeiros em função das doses de sais de Zn (g).

* significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste “t”

Dentre os tratamentos onde o fornecimento de Zn foi pela inserção do comprimido no caule (T2, T3, T4 e T5), não foram observadas diferenças significativas no teor foliar de Zn entre os quatro lados do cafeeiro (norte, sul, leste e oeste) aos 749 após o início do experimento, indicando que o comprimido forneceu Zn de maneira uniforme para a planta (Tabela 7).

Tabela 7 - Teor foliar de Zn (mg kg^{-1}) nos quatro lados (norte, sul, leste e oeste) de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn⁽¹⁾

TRATAMENTOS	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Combinação 1 - 1,8g (T2)	16,18a	14,97a	16,50a	15,11a
Combinação 2 - 0,5g (T3)	16,46a	14,19a	14,19a	17,17a
Combinação 2 - 1,0g (T4)	17,03a	18,56a	16,60a	16,37a
Combinação 2 - 3,0g (T5)	16,74a	16,36a	14,76a	15,72a
Coeficiente de Variação (%)		11,3		

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Duncan a 5% probabilidade

2.5. CONCLUSÕES

- O suprimento de Zn em ambas as forma de fornecimento, pulverização foliar e comprimidos inseridos no tronco, aumentou os conteúdos foliares de Zn do cafeeiro. Entretanto, o fornecimento de Zn pelos comprimidos foi mais regular que o fornecimento pela pulverização foliar;
- ambas as combinações de sais possuem comportamento semelhante, sendo a dose fornecida determinante para a obtenção do maior conteúdo foliar;
- o fornecimento Zn via comprimido no tronco resultou em maior teor do elemento na base do caule.

3. CAPÍTULO 2: PRODUÇÃO E QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFEIROS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES E FORMAS DE FORNECIMENTO DE ZINCO

3.1. INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro constitui-se em importante atividade geradora de emprego e de renda em muitos países, sobretudo quando se consideram as demais atividades ao longo de toda a cadeia do produto (Viana, 2003).

As exigências do mercado internacional por cafés de melhor qualidade estão sendo responsáveis pela difusão e adoção de novas tecnologias de produção e preparação, pois um dos fatores que determinou o declínio brasileiro no mercado internacional foi a falta de padrão de qualidade do produto nacional (Martins et al., 2005).

O café de boa qualidade é aquele que apresenta bebida com bom aroma, bom corpo, boa acidez e suavidade, cor e aspecto homogêneos. Baseado nestas características, o café pode ser dividido em sete classes de qualidade de bebida: estritamente mole, mole, apenas mole, duro, riado, rio e rio zona.

A composição química dos grãos é influenciada por fatores genéticos, ambientais e culturais, pelos métodos de colheita, processamento, armazenamento, torração e moagem, que podem afetar diretamente a qualidade da bebida do café (Mendonça et al., 2005).

Um aspecto que tem dificultado o estabelecimento de relações entre a composição química dos grãos de café e a qualidade da bebida é a subjetividade da classificação da bebida, a qual é realizada por provadores treinados que a diferenciam sensorialmente, ficando passível de erros

(Carvalho et al., 1994). Nesse sentido, diversos trabalhos vêm sendo realizados na busca de métodos que possam correlacionar os componentes químicos e a qualidade dos grãos a fim de complementar a avaliação da qualidade do café, com a aplicação de testes mais precisos (Prete, 1992; Carvalho et al., 1994; Pimenta e Vilela, 2002; Favarin et al., 2004).

A importância do Zn para o crescimento e produção do cafeeiro é largamente conhecida. Entretanto, pouco se sabe sobre a influência do Zn na qualidade dos grãos de café.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do Zn na produção e na qualidade de grãos produzidos por cafeeiros submetidos a diferentes doses e formas de fornecimento de Zn.

3.2. REVISÃO DE LITERATURA

Em cafeeiros, baixos teores de Zn podem afetar mais o desenvolvimento reprodutivo do que o vegetativo (Fávaro, 1992). A carência de Zn pode provocar a diminuição na produção de sementes (Malavolta et al., 1997; Mengel e Kirkby, 1987) que pode estar relacionada ao menor desenvolvimento das anteras e à inviabilidade dos grãos de pólen quando a planta está sob deficiência deste elemento (Sharma et al., 1987; Sharma et al., 1990).

Alguns relatos confirmam a importância do Zn na produção de grãos. Silva (1979) verificou um incremento da ordem de 82% na produção do cafeeiro, quando corrigida a deficiência de Zn. Fávaro (1992) observou maior produção de frutos quando os teores foliares de Zn atingiram $20 \mu\text{g g}^{-1}$. Mello et al (1999) verificaram que o cafeeiro respondeu às aplicações de doses crescentes de sulfato de zinco, via foliar, na produção e que o aumento nas doses de Zn proporcionou maior porcentagem de grãos classificados nas maiores peneiras.

Contudo, não há relatos sobre a relação entre o Zn e a qualidade dos grãos de café, sendo poucos os que relacionam a nutrição do cafeeiro à qualidade da bebida.

Mazzafera (1999) estudou o efeito do suprimento de nutrientes sobre o conteúdo de cafeína em folhas de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). O autor verificou que a omissão de K induziu o maior conteúdo de cafeína nas folhas e a ausência de P induziu a redução do conteúdo.

Silva et al. (1999) estudaram o efeito de diferentes fontes de K (KCl, K_2SO_4 e $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$) na qualidade do grão de café beneficiado e verificaram que o K_2SO_4 promove melhor qualidade do grão beneficiado. Corroborando com este resultado, Malta et al. (2002), avaliaram a qualidade do café adubado com três fontes de potássio (cloreto, sulfato e nitrato), e concluíram que cafeeiros adubados com fontes de K isentas de cloreto proporcionaram cafés de melhor qualidade.

Silva et al. (2002) verificaram que os componentes bioquímicos da qualidade dos grãos foram alterados com as doses da adubação potássica, atingindo a melhor qualidade com as doses de 266 kg ha^{-1} de K_2O .

Laviola et al. (2006) verificaram a influência de três níveis de adubação (baixo, adequado e alto) na formação de grãos moca e no tamanho dos grãos de cultivares de cafeeiro arábica. Os autores constataram maiores porcentagens e número de grãos moca no nível alto de adubação e maior proporção de grãos graúdos no nível adequado de adubação.

3.3. MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1. Instalação e condução dos experimentos

As avaliações foram realizadas no experimento 2 referido no capítulo 1.

3.3.2. Avaliação da produção do cafeeiro

Foram avaliadas a produção de grãos dos cafeeiros, nos anos agrícolas de 2006/2007 e 2007/2008, submetidos aos tratamentos:

T0 - testemunha, sem fornecimento de Zn;

T1.- pulverização foliar com ZnSO₄ a 0,4%;

T2 - combinação de sais 1 - comprimido com 1,8 g de sais de Zn;

T3 - combinação de sais 2 - comprimido com 0,5 g de sais de Zn;

T4 - combinação de sais 2 - comprimido com 1,0 g de sais de Zn;

T5 - combinação de sais 2 - comprimido com 3,0 g de sais de Zn.

As colheitas de café foram realizadas por derriça manual no pano, impedindo o contato dos grãos com o solo, quando as plantas apresentavam aproximadamente 5% de frutos verdes. Foi quantificada a produção de café das nove plantas da área útil da parcela.

3.3.3. Avaliação da qualidade dos grãos de café

As avaliações da qualidade dos grãos de café foram realizadas nos seguintes tratamentos:

T0 - testemunha, sem Zn;

T1.- pulverização foliar com ZnSO₄ a 0,4%;

T2 - combinação de sais 1 - comprimido com 1,8 g de sais de Zn;

T5 - combinação de sais 2 - comprimido com 3,0 g de sais de Zn.

Do total de frutos colhidos tomaram-se quatro quilogramas de frutos no estágio de maturação denominado "cereja", das nove plantas da parcela útil, para as avaliações de qualidade. As amostras foram lavadas, espalhadas em camada fina e secas ao sol, em bancadas suspensas. Após verificar se o teor de água dos grãos estava adequado (11-12%), os cafés em coco foram beneficiados, separando os grãos das cascas. Parte das amostras dos grãos descascados foi encaminhada para a prova da xícara, classificação de grãos por tamanho, e avaliação da porcentagem de grãos brocados e parte para análises químicas.

3.3.3.1. Prova da xícara, classificação dos grãos por tamanho e porcentagem de grãos brocados

A prova da xícara, a classificação dos grãos por tamanho e a porcentagem de grãos brocados foram avaliados nos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008. As amostras foram encaminhadas para o laboratório da Incofex Armazéns Gerais Ltda, em Viçosa – MG, e analisadas de acordo com Brasil (2003).

3.3.3.1.1. Prova da xícara

A classificação quanto à bebida foi determinada mediante a prova da xícara. Às diferentes classes de bebida observadas foram atribuídas notas permitindo uma avaliação quantitativa (Tabela 1).

Tabela 1 - Notas atribuídas a classes de bebida obtidas na prova de xícara com grãos de café provenientes dos diferentes tratamentos avaliados

PALADAR	NOTA	PALADAR	NOTA
Dura Frutada	100	Dura Suja	60
Dura Cítrica	100	Dura Verde Fermentada	60
Dura	80	Dura Riada	60
Dura Adstringente	80	Fermentada	40
Dura Fermentada	60	Fermentada Avinagrada	40
Dura Aguada	60	Rio	20

3.3.3.1.2. Avaliação da porcentagem de grãos brocados

A porcentagem de grãos atacados pela broca (*Hypothenemus hampei*) foi obtida por contagem numa amostra de 300 g de grãos beneficiados.

3.3.3.1.3. Classificação quanto ao tamanho dos grãos

O tamanho dos grãos foi avaliado empregando-se o procedimento usualmente adotado para comercialização, que consiste em passar uma amostra de 100g de café beneficiado por um conjunto de peneiras, cujos crivos apresentam diâmetro variando de 13 a 19/64". A seguir calculou-se a porcentagem de grãos exportáveis, ou seja, com diâmetro maior que 16/64" e a porcentagem de grãos miúdos, com diâmetro menor que 14/64" (chato miúdo). Os grãos exportáveis foram separados em duas classes de tamanho, os retidos nas peneiras 16/64" (chato médio) e os retidos em peneiras maiores que 17/64" (chato graúdo).

3.3.3.2. Análise química dos grãos de café

Avaliaram-se o índice de coloração, o potássio lixiviado, a condutividade elétrica, o pH e a acidez total titulável dos grãos nos anos agrícola 2006/2007 e 2007/2008, no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Também foram avaliados os teores dos ácidos clorogênicos e seus principais subgrupos, os ácidos cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos no ano agrícola 2006/2007, no laboratório de Bioquímica Nutricional e de Alimentos do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

3.3.3.2.1. Índice de coloração

O índice de coloração foi determinado pelo método descrito por Singleton em 1966 e adaptado para o café por Carvalho et al (1994). Foram tomados 2,0 g das amostras dos grãos de café, moídos em moinho do tipo

Willey e colocados em erlenmeyers aos quais se adicionaram 50 mL de água destilada. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas em mesa agitadora orbital por 1 hora. Fez-se a filtragem em papel de filtragem rápida e tomaram-se 5,0 mL do filtrado, adicionando-se 10 mL de água destilada a essa alíquota. Estas amostras foram deixadas em repouso por 20 minutos. Em seguida foram submetidas à leitura em espectrofotômetro a 425nm (λ).

3.3.3.2.2. Condutividade elétrica e potássio lixiviado

A condutividade elétrica foi determinada utilizando-se o método proposto por Loeffler et al. em 1988, com pequenas modificações descritas por Vieira (1994). Foram colocadas duas amostras de 50 grãos de cada parcela, em copos plásticos de 180 mL, contendo 75 mL de água destilada. A seguir, esses recipientes foram colocados em estufa ventilada, a 25°C, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da solução em condutivímetro, a cada hora, durante o período de cinco horas.

Imediatamente após a última leitura da condutividade elétrica, procedeu-se a quantificação do potássio lixiviado utilizando-se o fotômetro de chama, segundo metodologia proposta por Prete (1992). Os valores das leituras da condutividade elétrica e do potássio lixiviado da solução foram divididos pela massa fresca da respectiva subamostra, resultando em um valor expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ e g kg^{-1} de amostra, respectivamente.

3.3.3.2.3. Acidez total titulável

A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 N, de acordo com técnica descrita pela A.O.A.C. (1990). O resultado foi expresso em mL de NaOH 0,1 N por 100g da amostra.

3.3.3.2.4. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi medido diretamente no filtrado utilizando-se um peagômetro.

3.3.3.2.5. Ácidos clorogênicos, cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos

Os teores de ácidos clorogênicos foram determinados por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas de acordo com o método descrito por Farah et al. (2006b). A quantificação dos ácidos cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos foi realizada segundo Farah et al. (2005).

3.3.4. Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 10% de probabilidade.

Os dados da produção de café em função das doses de sais de Zn (g) foram submetidos às análises de variância e regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no significado biológico, na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t e adotando-se o nível de até 10% de probabilidade e no coeficiente de determinação ($R^2 = \text{SQRegressão} / \text{SQTratamento}$).

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1. Produção de grãos

Houve grande oscilação na produção de grãos entre os dois anos avaliados, fato este atribuído à bienalidade, que é uma característica fisiológica própria do cafeeiro arabica (Rena e Maestri, 1985) (Tabela 2).

No ano agrícola 2006/2007 a produção de grãos do tratamento com a combinação de sais 1 com 1,8 g (T2) foi superior aos tratamentos sem fornecimento de Zn (T0) e aos comprimidos com a combinação de sais 2 com 0,5 g (T3) e com 1,0 g (T4) (Tabela 2).

No ano agrícola seguinte verifica-se que o T4 foi superior aos demais tratamentos na produção de grãos (Tabela 2). Pela Tabela 5 do capítulo 1, nota-se que o conteúdo foliar de Zn do T4 foi superior ao do T0 somente a partir do 104º dia após a inserção do comprimido. Portanto, é provável que o efeito do fornecimento de Zn por esse tratamento tenha influenciado apenas na produção do ano agrícola 2007/2008, sugerindo um fornecimento de Zn mais tardio.

Na avaliação da produção acumulada das duas safras, verifica-se que o T2 foi superior ao T0 e ao T3 com produções de grãos equivalentes a produtividades de 188,2; 130,1 e 144,5 sacas beneficiadas por hectare, respectivamente (Tabela 2).

Na literatura, há relatos de incrementos na produção do cafeeiro com o fornecimento de Zn (Silva, 1979; Malavolta et al., 1983; Fávaro, 1992; Mello et al., 1999). Entretanto, neste trabalho verifica-se que o fornecimento de Zn pela inserção de comprimidos no tronco do cafeeiro (T2) foi uma forma promissora de fornecimento deste nutriente alcançando produções de grãos maiores que a do tratamento convencional (T1) (Tabela 2).

Tabela 2 - Produção de grãos (kg de café cereja por parcela) de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn ⁽¹⁾

TRATAMENTOS	Ano agrícola 2006/2007	Ano agrícola 2007/2008	Produção acumulada dos dois anos
Testemunha - sem Zn (T0)	68,88 b	15,43 b	84,31 b
Pulverizado (T1)	87,72 ab	15,75 b	103,47 ab
Combinação 1-1,8 g (T2)	99,82 a	22,13 b	121,95 a
Combinação 2-0,5 g (T3)	71,10 b	22,55 b	93,65 b
Combinação 2-1,0 g (T4)	71,16 b	36,72 a	107,88 ab
Combinação 2-3,0 g (T5)	82,73 ab	18,57 b	101,30 ab
Coeficiente de Variação (%)	29,8	44,2	23,6

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 10% probabilidade

Quando avaliadas as doses de sais de Zn da combinação 2 - 0; 0,5; 1,0 e 3,0 g fornecidas pelos tratamentos T0, T3, T4 e T5 respectivamente, verifica-se que estas influenciaram significativamente na produção de grãos (Figura 1).

No ano agrícola 2006/2007 observa-se um comportamento linear, no qual a produção de grãos aumenta com o aumento da dose fornecida (Figura 1A). Este comportamento parece indicar que no primeiro ano agrícola o comprimido com 3,0 g de sais de Zn (T5) forneceu o nutriente em quantidades adequadas resultando na maior produção de grãos entre as doses fornecidas pela composição 2. Todavia, no ano agrícola seguinte o fornecimento de Zn pelo T5 não foi suficiente para manter o comportamento linear na produção de grãos, resultando num modelo quadrático onde a dose máxima estimada foi de 1,59 g de sais de Zn (Figura 1B). Quando se observa a Figura 5 do capítulo 1, que apresenta o conteúdo foliar de Zn em função da doses de sais de Zn da composição 2, verifica-se que na dose de 3,0 g (T5) ocorreu uma diminuição do conteúdo foliar de Zn, sugerindo ser a diminuição no fornecimento de Zn o fator limitante na produção de grãos neste tratamento.

Para a produção acumulada o modelo observado foi o quadrático, no qual a dose máxima estimada foi de 1,86 g de sais de Zn (Figura 1C). Assim como observado para o conteúdo foliar de Zn (Figura 5 do Capítulo 1) a dose máxima estimada para a produção de grãos está próxima a dose fornecida pela combinação de sais 1 com 1,8 g (T2), sugerindo um comportamento semelhante entre as duas composições de sais de Zn.

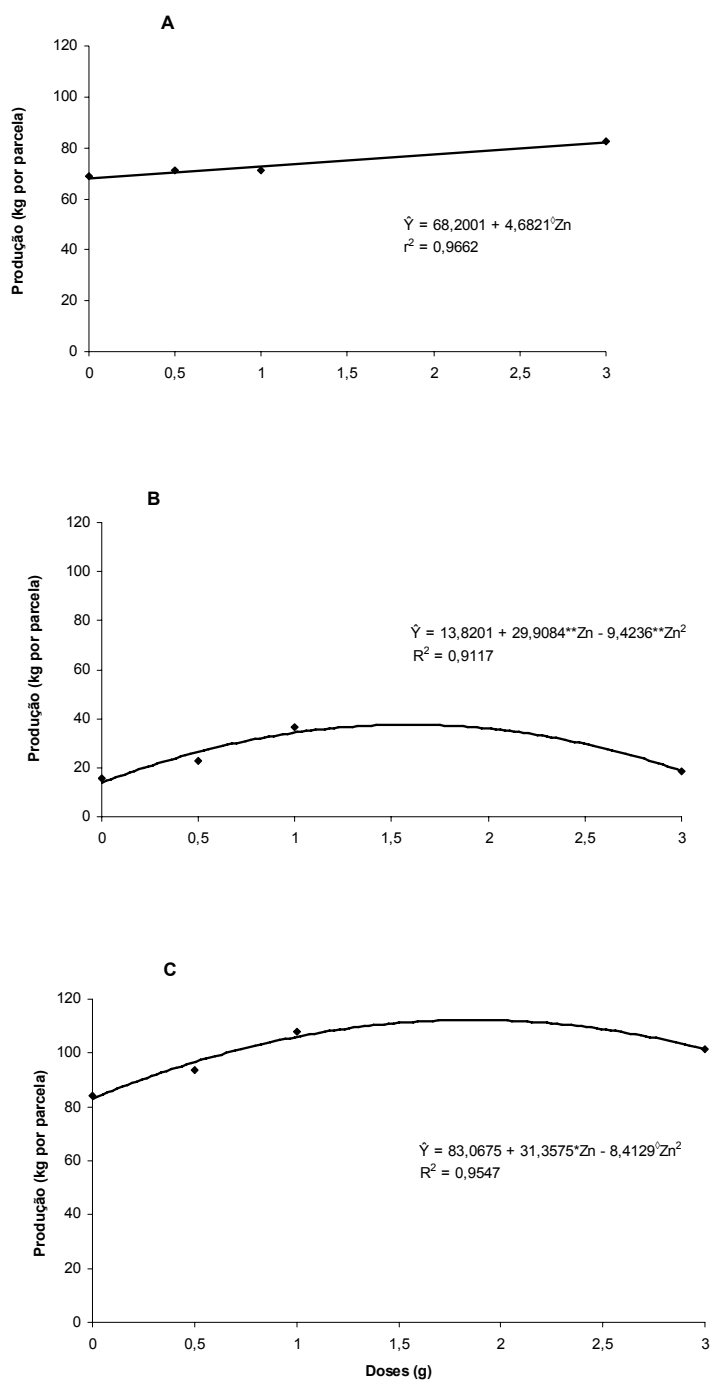


Figura 1 – Produção estimada de grãos (kg de café cereja por parcela) de cafeeiros em função das doses de sais de Zn (g) dos anos agrícolas 2006/2007 (A), 2007/2008 (B) e a produção acumulada (C).

** significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste “t”

* significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste “t”

◊ significativo ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste “t”

3.4.2. Qualidade dos grãos de café

3.4.2.1. Prova de xícara

O café como bebida é normalmente classificado em sete grupos: estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riada, rio e rio zona, sendo as quatro primeiras consideradas bebidas finas e as três últimas bebidas fenicadas. Certos gostos adicionais, provenientes de fermentações podem levar à aquisição de características secundárias obtendo-se assim tipos de bebida tais como dura avinagrada, mole ácida dentre outros. No presente trabalho características da bebida foram transformadas em escalas de valores permitindo uma avaliação quantitativa (Tabela 1). Considerando essa escala as notas atribuídas não resultaram em diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para bebida (Tabela 3).

De maneira geral, nos dois anos avaliados, a bebida foi classificada como dura, tendo como característica apresentar sabor acre, adstringente e áspero, porém sem paladares estranhos (Brasil, 2003). A prova da xícara é uma prova sensorial e o resultado é questionável ao representar uma expressão universal de qualidade, o que dificulta o estabelecimento de diferenças qualitativas entre as amostras de grãos de café (Silva et al., 2002).

3.4.2.2. Porcentagem de grãos brocados

A broca do café (*Hypothenemus hampei*) tem sido descrita como a praga mais importante da cafeicultura no mundo (Murphy e Moore, 1990) ocasionando perdas no peso dos grãos e na qualidade pela depreciação do produto na classificação por tipo (Reis e Souza, 1986).

No ano agrícola 2006/2007, verifica-se que nos tratamentos em que o fornecimento de Zn foi mediante a inserção do comprimido com as combinações de sais de Zn 1 - 1,8g (T2) e 2 - 3,0g (T5) a porcentagem de grãos brocados foi menor do que no tratamento sem fornecimento de Zn (T0) (Tabela 3). Já no ano agrícola seguinte todos os tratamentos onde houve fornecimento de Zn apresentaram porcentagem de grãos brocados significativamente menores do que as observadas no tratamento sem

fornecimento de Zn. Phelan et al. (1996) sugerem que o desequilíbrio nutricional das plantas favorece o ataque de pragas. Segundo Marschner (1995), a disponibilidade de nutrientes minerais pode influenciar a seleção do hospedeiro pelo inseto por alterar a composição química, a morfologia e a anatomia da planta.

Tabela 3 - Qualidade da bebida, porcentagem de grãos brocados e porcentagem de grãos retidos nas peneiras com diâmetro do crivo maior que 17/64", 16/64" e menores que 14/64" em grãos de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn, nos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 e os coeficientes de variação(CV) ⁽¹⁾

TRATAMENTOS	Ano Agrícola 2006/2007				
	Bebida	Brocados	Peneiras (%)		
			> 17/64"	16/64"	<14/64"
Sem Zn (T0)	63,33 a	7,5 a	77,7 b	15,0 a	1,3 a
Pulverizado (T1)	76,67 a	4,5 ab	83,8 a	10,2 b	1,3 a
Combinação 1 - 1,8 g (T2)	70,00 a	3,0 b	85,5 a	9,2 b	1,1 a
Combinação 2 - 3,0 g (T5)	66,67 a	2,5 b	83,0 a	9,8 b	0,8 a
CV (%)	27,2	86,0	5,1	30,9	44,4
TRATAMENTOS	Ano Agrícola 2007/2008				
	Bebida	Brocados	Peneiras (%)		
			> 17/64"	16/64"	< 14/64"
Sem Zn (T0)	60,00 a	21,7 a	45,3 b	9,7 a	1,9 a
Pulverizado (T1)	63,33 a	6,3 b	57,2 a	7,3 a	0,5 b
Combinação 1 - 1,8 g (T2)	73,33 a	5,3 b	58,5 a	7,5 a	0,6 b
Combinação 2 - 3,0 g (T5)	60,00 a	6,5 b	55,3 a	8,7 a	0,8 b
CV (%)	25,0	47,4	13,7	27,3	59,5

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 10% probabilidade

3.4.2.3. Tamanho de grãos

Quanto ao tamanho dos grãos, observa-se na Tabela 3 que as maiores retenções concentraram-se nas peneiras de maior crivo (> 17/64").

Na colheita de 2006/2007, verificou-se que os grãos dos cafeeiros sem fornecimento de Zn (T0) apresentaram maior porcentagem na peneira 16/64" (grãos médios) e menor na peneira 17/64" (grãos graúdos) (Tabela 3). Nota-se também que não houve diferença no tamanho dos grãos entre os tratamentos onde o fornecimento de Zn foi por meio dos comprimidos ou pulverização, sendo que estes sempre alcançaram as maiores porcentagens na peneira de maior diâmetro dos crivos (>17/64").

No ano agrícola 2007/2008 verificou-se que o T0 apresentou maior porcentagem de grãos miúdos (<14/64") e menor nos grãos graúdos (>17/64") (Tabela 3).

Os grãos de café retidos na maior peneira, associados a outros aspectos de boa qualidade, geralmente apresentam maior valor no mercado. A separação pelo tamanho dos grãos por meio da classificação por peneiras proporciona melhor qualidade do produto final, resultando mais uniformidade na torra (Nasser e Chalfoun, 2000).

Sabe-se que o Zn é essencial para a síntese do triptofano que, por sua vez, é precursor do ácido indolacético (AIA) (Salami e Kenefick, 1970; Mengel e Kirkby, 1987) o qual promove o desenvolvimento do fruto (Taiz e Zeiger, 2004). Assim supõe-se que fornecimento deste elemento tenha sido determinante no tamanho dos grãos de café. Este resultado corrobora os resultados obtidos por Mello et al. (1999) que avaliando o efeito de diferentes doses de sulfato de Zn em pulverizações foliares na produção do cafeeiro observaram que o aumento nas doses de Zn proporcionou maior porcentagem de grãos classificados nas peneiras de maior abertura de malha.

3.4.2.4. Índice de coloração

Para o grão de café cru, a cor é a característica que chama a atenção no momento da comercialização. A cor pode levar à rejeição do produto por revelar os cuidados na colheita, secagem e no armazenamento (Lopes, 1988). Segundo Carvalho et al (1994), valores mais altos do índice de coloração indicam cafés de tonalidade intensa que exprime a cor característica das boas práticas do processamento. Quando há perdas estas são causadas, principalmente, por reações oxidativas, com conseqüente branqueamento dos grãos. Entretanto, Farah et al (2006a) observaram que cafés de pior qualidade apresentaram-se mais escuros. Esse efeito foi atribuído à maior porcentagem de grãos defeituosos nos cafés de pior qualidade e à ação indireta da polifenoloxidase sobre os compostos fenólicos dessas amostras.

Neste trabalho não foram observadas diferenças entre os tratamentos para o índice de coloração dos grãos nas duas safras avaliadas (Tabela 4). No

entanto, em média, o índice de coloração foi de 0,93 e 0,34 D.O. 425nm para os anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008, respectivamente.

Diversos trabalhos têm correlacionado o índice de coloração com a qualidade da bebida. Porém, não há um consenso quanto ao valor deste índice. Carvalho et al. (1994) estabeleceram que cafés com índices de coloração iguais ou superiores a 0,65 se enquadram nas classes de cafés "duro", "apenas mole", "mole" e "estritamente mole". Os índices de coloração inferiores a 0,65 são classificados como "rio" e "riado", ou seja, cafés não exportáveis. Para Corrêa et al. (1997) o índice de coloração possibilitou a distinção entre as bebidas dura, apenas mole, mole e estritamente mole. Porém os valores do índice de coloração encontrados por esses autores foram: 0,47, 0,54, 0,63, e 0,72 respectivamente.

No presente trabalho, apesar das médias dos valores do índice de coloração observados nos dois anos agrícola serem diferentes, os cafés foram classificados como de bebida dura nos dois anos (Tabelas 3 e 4). Logo o índice de coloração, aparentemente, não teve boa correlação com a classificação sensorial dos grãos.

3.4.2.5. Condutividade elétrica e potássio lixiviado

Os testes de condutividade elétrica e potássio lixiviado vêm sendo constantemente utilizados como eficientes marcadores de qualidade por apresentarem maior sensibilidade na detecção de degradações ocorridas nas membranas celulares dos grãos por ocasião de manejos inadequados nas fases de pré e pós colheita (Angélico, 2008). Uma maior lixiviação de potássio, com o conseqüente aumento na condutividade elétrica, é um forte indicador de danos na membrana e na parede celular (Goulart et al. 2007). Existe concordância de que a degeneração das membranas celulares e subseqüente perda de controle de permeabilidade seja um dos primeiros eventos que caracterizem a deterioração (Malta et al., 2005). De acordo com Amorim (1978), várias condições, incluindo a injúria mecânica dos grãos, afetam a estrutura das membranas celulares nos grãos de café. Estas, ao entrarem em colapso, liberam seu conteúdo celular, incluindo enzimas como a

polifenoloxidase, proteases e lipases, modificando a composição química do grão cru, que ao ser torrado irá produzir compostos que alterarão o aroma e o sabor do infuso.

Tabela 4 - Índice colorimétrico (IC - D.O. 425 nm), condutividade elétrica nas diferentes leituras (CE1, CE2, CE3, CE4 e CE5 correspondendo a 1, 2, 3, 4 e 5 horas respectivamente - $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), teor de potássio lixiviado (K Lix - g kg^{-1}), pH e acidez total titulável (ATT - $\text{mL NaOH } 100\text{g}^{-1}$) dos grãos nos tratamentos sem fornecimento de Zn (T0), fornecimento via pulverização foliar de ZnSO_4 (T1), combinação de sais 1 - comprimido com 1,8 g de sais de Zn (T2) e combinação de sais 2 - comprimido com 3,0 g de sais de Zn (T5) nos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 e os coeficientes de variação (CV) ⁽¹⁾

TRAT	ANO AGRÍCOLA 2006/2007								
	IC	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	K Lix	pH	ATT
T0	0,93a	5,48a	8,06a	13,52a	18,15a	22,61a	1,13a	5,45a	141,7ab
T1	0,89a	3,79b	7,00ab	10,20b	14,97b	18,33b	0,80b	5,45a	128,3b
T2	0,96a	4,58ab	6,54b	9,48b	13,05b	16,84b	0,83b	5,40a	143,3a
T5	0,94a	4,50ab	7,03ab	9,69b	14,06b	18,15b	0,91b	5,33a	145,0a
CV (%)	13,2	22,3	15,0	22,9	16,7	15,8	15,7	2,3	9,7
TRAT	ANO AGRÍCOLA 2007/2008								
	IC	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	K Lix	pH	ATT
T0	0,34a	30,48a	43,54a	64,43a	76,82a	88,42a	0,95a	5,93a	150,0a
T1	0,35a	25,82b	31,40b	44,46b	56,18b	62,89b	0,56b	5,96a	166,7a
T2	0,33a	25,63b	31,23b	45,50b	58,25b	66,16b	0,65b	5,94a	154,2a
T5	0,34a	25,67b	34,01b	47,42b	59,37b	68,49b	0,68b	5,92a	154,2a
CV (%)	13,0	8,5	17,5	20,6	19,9	18,2	23,5	1,6	11,2

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 10% probabilidade

A condutividade elétrica e o potássio lixiviado da solução, após 5 horas de imersão dos grãos em água, apresentaram valores significativamente maiores no tratamento sem fornecimento de Zn, nos dois anos de avaliação (Tabela 4). Sabe-se que em plantas deficientes em Zn ocorre o aumento da permeabilidade das membranas (Cakmak e Marschner, 1988; Kaya e Higgs, 2001). Desta forma, é provável que este resultado reflita o papel do Zn na manutenção da integridade das membranas dos grãos de café.

3.4.2.6. Acidez total titulável

O teor de acidez titulável em grãos de café pode variar de acordo com os níveis de fermentação que ocorrem nos grãos, podendo servir como suporte para auxiliar na avaliação da qualidade de bebida do café (Pimenta, 2001). Carvalho et al (1994) observaram diferenças marcantes entre os teores de acidez titulável em cafés de diferentes qualidades de bebida, sendo mais ácidos aqueles cafés de qualidade inferior.

Neste trabalho, no ano agrícola 2006/2007, os tratamentos 2 e 5 apresentaram maiores valores para a acidez total titulável que o tratamento 1. Já no ano agrícola 2007/2008 a acidez total titulável não foi afetada pelo fornecimento de Zn às plantas (Tabela 4).

Em média, os valores observados foram de 139,6 e 156,3 mL de NaOH 100g de amostra, para os anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 respectivamente, mantendo índices abaixo de 211,2 mL NaOH/100g de amostra, considerados por Carvalho et al. (1994) como referência para cafés de boa qualidade.

3.4.2.7. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH tem sido avaliado em cafés crus, na tentativa de verificar a existência de alguma relação com a qualidade dos grãos (Silva, 2005). Sabe-se que valores de pH podem indicar eventuais transformações nos frutos do cafeeiro, como as fermentações indesejáveis que ocorrem na pré ou na pós-colheita (Siqueira e Abreu, 2006).

No presente trabalho, não foram verificadas diferenças significativas nos valores de pH entre os diferentes tratamentos estudados, sendo que, em média, o pH dos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 foram de 5,41 e 5,94 respectivamente (Tabela 4). Esses valores estão próximos aos observados por Angélico (2008) que foi de 5,70 para café no estado de maturação cereja.

Nota-se na Tabela 4 que os valores da acidez titulável aumentaram de uma safra para a outra, entretanto os valores de pH também aumentaram. Esse comportamento parece ser contraditório. A expectativa é a de que

menores valores de pH correspondam a uma maior acidez titulável, porém, deve-se considerar que ácidos diferentes com grau de ionização diferentes, estão envolvidos neste fenômeno, o que dificulta uma interpretação objetiva (Silva, 2005).

3.4.2.8. Ácidos clorogênicos, cafeoilquínicos, dicafeoilquínicos e feruloilquínicos

O aroma do café é formado por uma mistura extremamente complexa de inúmeros compostos voláteis que apresentam qualidades, intensidades e concentrações diferentes. Esses compostos voláteis são gerados basicamente durante a torrefação do café cru. Dentre esses compostos podem-se destacar os fenóis (Moreira et al. 2000). Os ácidos clorogênicos são os principais componentes da fração fenólica dos grãos crus, alcançando teores de até 14% (em peso seco) (Farah e Donangelo, 2006). Os principais grupos de ácidos clorogênicos são os cafeoilquínicos, os feruloilquínicos e os dicafeoilquínicos (Moreira et al. 2000; Nogueira e Trugo, 2003).

Diversas tentativas têm sido feitas para correlacionar os níveis de ácidos clorogênicos com a qualidade da bebida, relacionando atributos sensoriais específicos, tais como adstringência, com a presença de isômeros do ácido clorogênico. Há pouca evidência na literatura para apoiar essas idéias, mas é geralmente aceito que o café arábica, com um menor conteúdo de ácido clorogênico, tem qualidade superior ao café robusta (Trugo e Macrae, 1984). Para Clifford e Ohiokpehai (1983) a sensação de amargor e adstringência encontrada no café parece estar associada principalmente à presença dos ácidos dicafeoilquínicos, influenciando negativamente na aceitabilidade da bebida de café.

O fornecimento de Zn não influenciou na concentração dos ácidos clorogênicos totais avaliados neste trabalho, tampouco em seus subgrupos (Tabela 5). As concentrações dos ácidos clorogênicos observadas estão acima da observada por Siqueira e Abreu (2006) que foi de 3,81% e abaixo da observada por Angélico (2008) que foi de 5,75% para cafés em estágio de maturação cereja. Os teores de ácidos clorogênicos totais podem variar de

acordo com a genética, espécie e cultivar, grau de maturação, práticas agrícolas, clima, condições do solo e método empregado na determinação (Farah e Donangelo, 2006).

Tabela 5 - Teores dos ácidos clorogênicos (ACG – g 100g⁻¹), cafeoilquínicos (ACQ – mg 100g⁻¹), dicafeoilquínicos (ADICQ – mg 100g⁻¹) e feruloilquínicos (AFQ mg 100g⁻¹) no ano agrícola 2006/2007 e os coeficientes de variação (CV)⁽¹⁾

TRATAMENTOS	ACG	ACQ	AFQ	ADICQ
Sem Zn (T0)	3,93 a	3164,64 a	296,34 a	385,50 a
Pulverizado (T1)	4,28 a	3408,92 a	305,82 a	485,05 a
Combinação 1 - 1,8g (T2)	3,89 a	3094,44 a	296,45 a	432,27 a
Combinação 2 - 3,0g (T5)	4,21 a	3366,37 a	315,06 a	472,09 a
CV (%)	12,0	11,5	9,1	25,0

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan a 10% probabilidade

3.5. CONCLUSÕES

O fornecimento de Zn via pulverização foliar ou inserção de comprimidos na base do tronco influenciou positivamente a produção e a qualidade dos grãos de café, caracterizada pelo seu tamanho, porcentagem de grãos brocados, condutividade elétrica e o potássio lixiviado dos grãos.

4. CAPÍTULO 3: PLASTICIDADE ANATÔMICA FOLIAR DO CAFEIEIRO AFETADA PELO FORNECIMENTO DE ZINCO

4.1. INTRODUÇÃO

Diversos fatores, como a disponibilidade de luz, água e nutrientes podem alterar a estrutura interna da folha. Assim, o manejo da cultura exige uma atenção especial, pois o corpo do vegetal está dinamicamente relacionado com as condições de cultivo (Silva et al., 2005).

Se um dos elementos químicos essenciais à planta está disponível em quantidades insuficientes ou em combinações químicas que são pobremente absorvidas, a deficiência deste elemento provocará desarranjos nos processos metabólicos da planta (Epstein e Bloom, 2006). Esses desarranjos podem afetar a estrutura interna da planta, podendo ocorrer alterações na diferenciação vascular, estrutura foliar, e ultraestrutura celular, bem com a perda da integridade da parede celular (Dickison, 2000).

A maioria das lavouras cafeeiras de Minas Gerais apresenta deficiência por Zn, comprometendo a produção de grãos. Uma das características visuais do sintoma de deficiência de Zn, frequentemente relatada na literatura, é o aspecto típico das folhas, geralmente pequenas, estreitas e lanceoladas, sendo as mais novas coriáceas e quebradiças, além de clorose internerval (Malavolta, et al. 1997, Epstein e Bloom, 2006).

Entretanto, são poucos os trabalhos que tratam das mudanças anatômicas que ocorrem em cafeeiro sob desordens nutricionais. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da deficiência de Zn na plasticidade anatômica foliar do cafeeiro.

4.2. REVISÃO DE LITERATURA

Dedecca (1957) foi o primeiro a descrever a anatomia do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Posteriormente alguns trabalhos foram desenvolvidos relacionando os efeitos do ambiente na anatomia do cafeeiro.

Voltan et al. (1992) estudaram os efeitos de diferentes intensidades luminosas na anatomia foliar de cafeeiros e observaram que sob condições de maior radiação ocorre um espessamento foliar promovido principalmente pela expansão das células do mesófilo. Os autores verificaram também aumento no número de estômatos por unidade de área foliar. Corroborando este resultado, Silva (2002) observou que uma maior radiação aumentou a espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso, e o número de estômatos e a espessura foliar.

Gomes et al. (2008) observaram em cafeeiros sombreados menor espessura das folhas e espaços intercelulares maiores no tecido lacunoso. Nos cafeeiros a pleno sol estes autores verificaram mudança na forma dos cloroplastos, os quais se apresentaram mais alongados quando comparados aos cafeeiros arborizados.

Carvalho et al. (1998) observaram em *Coffea canephora* cv. Conilon aumento na espessura foliar após exposição a baixas temperaturas.

Queiroz-Voltan et al. (1998) estudaram as alterações anatômicas em folhas e caules de ramos de cafeeiros infectados com *Xylella fastidiosa* e constataram a deposição de goma no xilema do caule, pecíolo e folha, assim como divisões celulares anormais no xilema, floema e córtex.

Embora a nutrição mineral contribua com a composição da organização estrutural, são poucos os trabalhos relacionando anatomia e nutrição do cafeeiro.

Rosolem et al. (2005) observaram em raízes de cafeeiros, cultivados em solução nutritiva sem fornecimento de Zn, um aumento no diâmetro do estelo, na espessura da epiderme e na área da seção transversal do córtex e do estelo, entretanto o diâmetro dos vasos do xilema diminuiu.

4.3. MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas na mesma área experimental no qual foi conduzido o experimento 2 do capítulo 1.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados com 2 tratamentos (T0 - sem fornecimento de Zn e T1 - com fornecimento de Zn via pulverização foliar com ZnSO₄ a 0,4%) e 3 repetições. Cada parcela foi constituída de 33 plantas, em espaçamento de 3x1m dispostas em três fileiras. Consideraram-se como parcela útil nove plantas dispostas na fileira central da parcela.

Aos 203 dias após a implantação dos tratamentos procedeu-se a amostragem do quarto par de folhas completamente expandidas, partindo-se do ápice dos ramos plagiotrópicos produtivos, situados no terço médio do cafeeiro, para as avaliações anatômicas e para a determinação do conteúdo foliar de Zn.

Para o estudo anatômico foram tomadas porções do terço médio do limbo foliar, de uma folha por parcela útil, compreendendo a nervura central e a região internervural, fixadas em FAA₅₀ (formaldeído + ácido acético glacial + álcool 50%, na proporção de 5:5:90) por 48 horas, e estocado em etanol 70% (Johansen, 1940). Amostras de aproximadamente 0,25 cm² da região mediana da lâmina foliar, compreendendo a nervura de primeira ordem e parte da região internervural, foram incluídas em metacrilato (Historesin – Leica), de acordo com as recomendações do fabricante. O material emblocado foi seccionado transversalmente com 5 µm de espessura, em micrótomo rotativo. As lâminas com as seções transversais foram coradas com azul de toluidina, para

metacromasia (O'Brien et al., 1964), e montadas sob lamínula com resina sintética (Permout).

Para a observação da superfície foliar, porções da lâmina foliar foram submetidas ao processo de diafanização (Johansen, 1940), coradas com violeta cristal e montadas entre lâmina e lamínula com resina sintética (Permout).

As imagens digitalizadas, correspondentes às seções transversais e à superfície foliar, foram obtidas através de microscópio de luz (Olympus AX70 TRF) com sistema U-PHOTO, acoplado a câmera fotográfica digital (Spot Insightcolour 3.2.0) e microcomputador com o programa de captura de imagens Spot Basic. As medidas lineares e as contagens foram realizadas com o programa ANATI QUANTI versão 2.0, segundo recomendação de Aguiar et al. (2007).

Na região internervural, foram determinadas as seguintes características anatômicas quantitativas: espessura da folha, do mesofilo, do parênquima paliçádico, do parênquima lacunoso, da epiderme da face adaxial, da epiderme da face abaxial e a relação parênquima paliçádico/lacunoso. Em cada repetição, foi considerada a média de 10 medidas em um campo com objetiva de aumento 20 e zoom digital de aumento 1,0. Na região da nervura principal, foi feita apenas uma análise qualitativa do tecido vascular, uma vez que a proporção dos tecidos e a morfologia da região variam muito em decorrência da ramificação de nervuras de segunda ordem e presença de domácias.

Para a determinação da densidade estomática (estômatos mm^{-2}) e do índice estomático ($=[\text{n}^\circ \text{ estômatos} / \text{n}^\circ \text{ estômatos} + \text{n}^\circ \text{ células epidérmicas comuns}] \times 100$), considerou-se a média de três campos analisados por repetição.

As análises anatômicas quantitativas foram realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia Vegetal, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa/MG.

Para determinação do conteúdo foliar de Zn as amostras foliares coletadas foram lavadas em água desionizada, submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C, até pesos constantes, pesadas e

trituras em moinho tipo Willey. As concentrações de Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975) no extrato da digestão nítrico-perclórica (Johnson e Ulrich, 1959).

Para o cálculo do conteúdo foliar de Zn, o peso da matéria seca total (g) das folhas por parcela (nove plantas por parcela útil) foi dividido pelo número de folhas amostradas (36) e multiplicado pela concentração de Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$) obtendo-se o conteúdo foliar de Zn (μg).

4.3.1. Estatística

Os dados referentes à anatomia quantitativa da lâmina foliar foram submetidos à análise de variância sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste “F” a 10% de probabilidade.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 de *Coffea arabica* L. apresenta nas folhas uma epiderme unisseriada, tanto na face adaxial como na face abaxial (Figura 1A-B), onde os estômatos estão localizados (Figura 1B-C). O mesofilo é dorsiventral, apresentando parênquima paliçádico voltado para a face adaxial da lâmina e parênquima lacunoso na face abaxial. O parênquima paliçádico é unisseriado com células alongadas, justapostas, de espessura uniforme e com seus maiores eixos perpendiculares à epiderme. O parênquima lacunoso apresenta células arredondadas e, de modo geral, possui um arranjo frouxo com abundantes espaços intercelulares. Imerso no parênquima lacunoso, dispõem-se os feixes vasculares colaterais correspondentes às nervuras de menor calibre. Nas regiões de inserção das nervuras de segunda ordem com a nervura principal é comum a presença de domácias.

No tratamento sem fornecimento de Zn, verifica-se que o conteúdo foliar de Zn foi menor do que o do tratamento com fornecimento deste elemento (Tabela 1). Observa-se também que o não suprimento do nutriente aumentou significativamente as espessuras da folha, do mesofilo e do parênquima lacunoso (Tabela 1). A diferença observada na espessura do limbo foi ocasionada pela maior espessura do mesofilo, uma vez que não se observou variação na espessura da epiderme, em nenhuma das faces da folha (Figuras 1A e 1B). Resultados semelhantes foram encontrados por Sharma e Sharma (1987) em plantas de couve-flor sob deficiência de Zn, onde a espessura da lâmina foliar aumentou e as células do mesofilo foram relativamente maiores quando comparadas às folhas das plantas com suprimento de Zn.

Tabela 1 – Conteúdo foliar de Zn (CF), espessura da folha (EF), espessura do mesofilo (EM), espessura do parênquima paliçádico (PP), espessura do parênquima lacunoso (PL), proporção entre o parênquima paliçádico e o parênquima lacunoso (PPPL), espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura da epiderme abaxial (EAB), densidade estomática (DE) e o índice estomático (IE) de folhas de cafeeiro sem fornecimento de Zn (T0) e com fornecimento de Zn (T1)⁽¹⁾

Trat.	CF µg	Dados anatômicos do limbo foliar								
		EF	EM	PP	PL	PPPL	EAD	EAB	DE	IE
		-----µm-----						mm ²		%
T0	4,0b	278,3a	232,6a	54,3a	178,3a	0,30a	26,9a	18,8a	164,8a	17,8a
T1	15,3a	255,4b	210,0b	57,1a	152,9b	0,38a	26,0a	19,4a	154,7a	15,0a
CV	27,8	3,9	5,8	24,7	6,0	31,8	2,7	12,1	37,7	21,9

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste F a 10% probabilidade

Quanto à proporção entre os tecidos parenquimáticos (parênquima paliçádico/parênquima lacunoso) não foram observadas diferenças significativas.

Também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para densidade estomática, porém, verifica-se na Tabela 1, tendência do tratamento sem fornecimento de Zn apresentar densidade estomática maior que a do tratamento com fornecimento de Zn. Um dos sintomas da deficiência de Zn é a diminuição da área foliar (Malavolta, et al. 1997; Epstein e Bloom, 2006) e a densidade estomática é inversamente proporcional à área da lâmina foliar (Gupta, 1961). Portanto, a tendência observada corrobora com o sintoma de deficiência de Zn.

Fato semelhante ocorreu com o índice estomático, que também não apresentou diferença estatística, no entanto apresentou a mesma tendência observada na densidade estomática, sendo que o tratamento sem fornecimento de Zn apresentou maior valor. Um maior índice estomático indica que houve aumento, em porcentagem, do número de estômatos em relação ao total de células epidérmicas. Este fato evidencia um investimento das plantas na produção de estômatos para otimizar o aproveitamento da área da epiderme (Pereira, 2008).

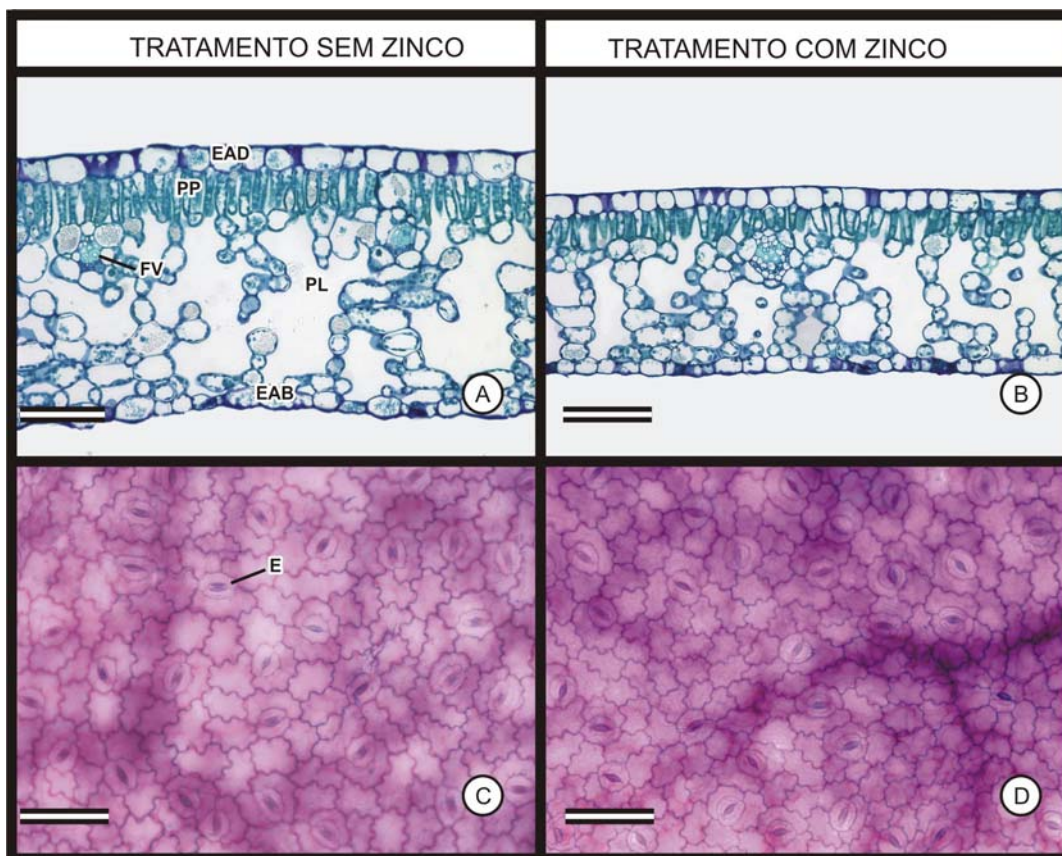


Figura 1. Seções transversais da região internervural (A e B) e paradérmicas (C e D) de folhas de cafeeiro com e sem fornecimento de Zn. EAD: epiderme da face adaxial; EAB: epiderme da face abaxial; FV: feixe vascular; PP: parênquima paliçádico; PL: parênquima lacunoso; E: estômato. Barra corresponde a 100 μ m.

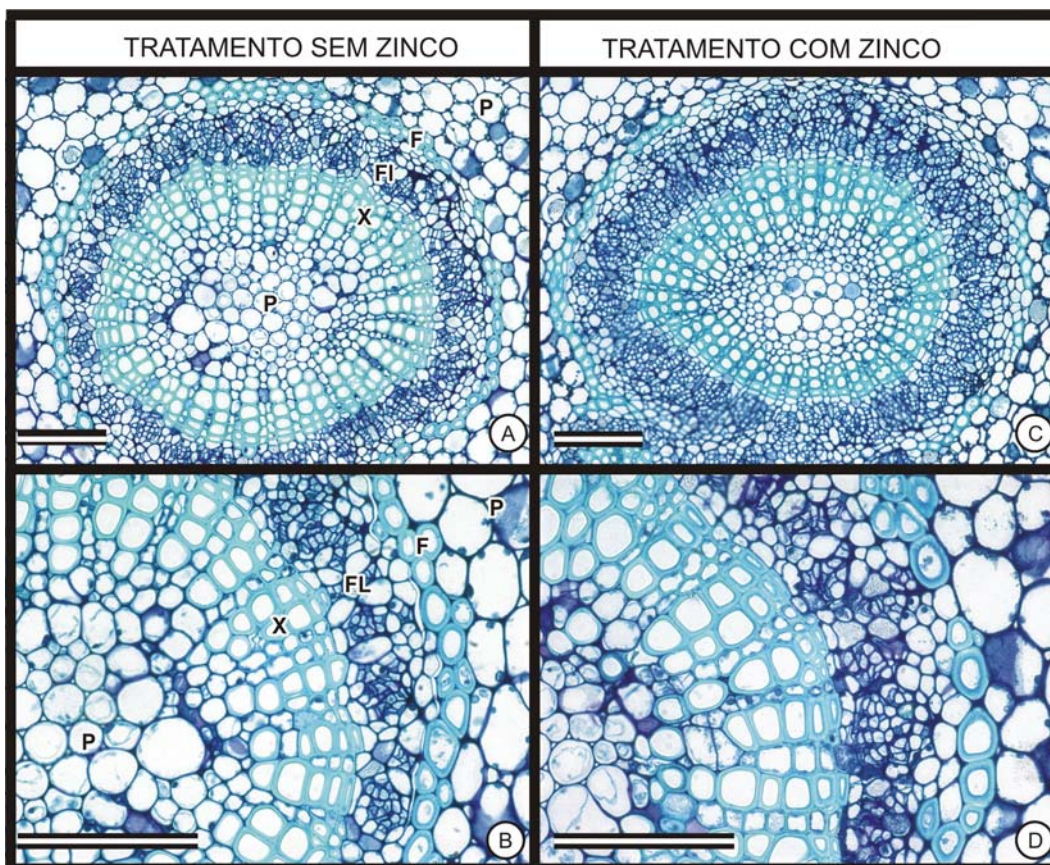


Figura 2 - Seções transversais da região da nervura principal (A e C) e detalhe do tecido vascular (B e D) de folhas de cafeeiro com e sem fornecimento de Zn. F: fibras; FL: floema; P: parênquima; X: xilema. Barra corresponde a 100 μ m.

A análise microscópica das seções transversais da nervura principal do terço médio das folhas de ambos os tratamentos não apresentou diferenças estruturais no sistema vascular (Figura 2). As plantas do tratamento sem fornecimento de Zn não apresentaram sinais de desorganização dos tecidos, sendo a estrutura da nervura típica do cafeeiro (Dedecca, 1957). Rosolem et al. (2005) também não observaram modificações no tecido vascular em folhas de cafeeiros submetidos a deficiência de Zn.

4.5. CONCLUSÕES

O fornecimento de Zn afetou a anatomia foliar, sendo que sob deficiência deste elemento ocorreu aumento das espessuras do limbo foliar, do mesofilo e do parênquima lacunoso.

5. CONCLUSÕES GERAIS

O suprimento de Zn por meio da inserção de comprimidos no tronco de cafeeiros pode ser uma forma promissora de fornecimento deste elemento, uma vez que proporcionou produtividade e qualidade semelhantes às obtidas com o suprimento convencional por pulverização foliar.

O fornecimento de Zn afetou a plasticidade foliar do cafeeiro, que sob deficiência apresentou aumento das espessuras do limbo foliar, do mesófilo e do parênquima lacunoso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, T.V.; SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; AZEVEDO, A.A.; FERREIRA, R.S. ANATI QUANTI: Software de análises quantitativas para estudos em anatomia vegetal. **Planta Daninha**, v.25, n.4, p.649-659, 2007.

AHUMADA, T.I.; BUSTAMANTE, A.; SCHALSCHA, E.N. Zinc speciation in phosphate-affected soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.28, p.989-995, 1997.

AMORIM, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1978. 85p (Tese Livre Docência em Bioquímica).

ANGÉLICO, C.L. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) em diferentes estádios de maturação e submetido a cinco tempos de ensacamento antes da secagem**. Lavras: UFLA, 2008. 149p. (Mestrado em Ciências dos Alimentos).

A.O.A.C - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12ed. Washington: AOAC, 1975. 1094p.

A.O.A.C - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15ed. Washington: AOAC, 1990. 684p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru.** Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. **Physiological Plantarum**, v.70, p.13-20, 1987.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Increase in Membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. **Journal of Plant physiology**, v.132, p. 356-361, 1988.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. **Plant and Soil**, v.129, p.261-268, 1990.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Effect of zinc nutritional status on activities of superoxide radical and hydrogen peroxide scavenging enzymes in bean leaves. **Plant and Soil**, v.155/156, p.127-130, 1993.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H.; BANGERTH, F. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal Experimental Botany**, v.40, p. 405-412, 1989.

CARVALHO, L.M.; SILVA, E.A.M; MOSQUIM, P.R; AZEVEDO, A.A.; CECON, P.R. Alterações morfofisiológicas em cafeeiros submetidos a baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.10, n.2, p.131-136, 1998.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N.; JUSTE JÚNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n. 3, p.449-454, 1994.

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. **Plant Physiology**, v.31, p.239-293, 1980.

CLIFFORD, M.N.; OHIOKPEHAI, O. Food Analysis. Coffee astringency. **Analytical Proceedings**, v.20, p.83-86, 1983.

Disponível em: <http://www.rsc.org/ejarchive/AP/1983/AP9832000083.pdf>.
Acesso em: 10/04/2009.

CORRÊA, P.C.; SILVA, C.G.; MIRANDA, L.C.G. Qualidade da bebida do café (*Coffea arabica* L.) avaliado por espectrofotometria. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.22, n.1, p.09-12, 1997.

DECHEN, A.R., HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) **Micronutrientes na agricultura**. São Paulo: Piracicaba, Potafos/CNPQ, 1991, p.66-78.

DEDECCA, D.M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. Var. Typica Cramer. **Bragantia**, v.16, p.315-366, 1957.

DICKISON, W.C. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Academic Press, 2000. 533p.

DUTCHER, J.D.; WORLEY, R.E.; LITTRELL, R.H. Trunk injection of dicotophos and trunk implantation of acephate to control foliar pecan pests. **Journal of Arboriculture**, v. 6, n. 11, p. 294-297, 1980.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 1997. 212p.

EPSTEIN, M.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.8, p. 1269-1290, 2001.

FARAH, A.; DONANGELO, C.M. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.23-36, 2006.

FARAH, A.; MONTEIRO, M.C.; CALADO, V.; FRANCA, A.; TRUGO, L.C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v.98, n.2, p. 373-380, 2006a.

FARAH, A.; PAULIS, T.; TRUGO, L.C.; MARTIN, P.R. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.5, p.1105-1113, 2005.

FARAH, A.; PAULIS, T.; TRUGO, L.C.; MARTIN, P.R. Chlorogenic acid and lactones in regular and water-decaffeinated roasted coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.2, p.374-381, 2006b.

FAVARIN, J.L.; VILLELA, A.L.G.; MORAES, M.H.D.; CHAMMA, H.M.C.P.; COSTA, J.D.; DOURADO-NETO, D. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetido a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.187-192, 2004.

FÁVARO, J.R.A. **Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. Em resposta a nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio.** Viçosa: UFV, 1992. 91p. (Mestrado em Fisiologia Vegetal).

FÁVARO, J.R.A.; BRAGA, R.P.; RENA, A.B.; ALVES, J.D.; CORDEIRO, A.T. Mobilidade de zinco em folhas de cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16o, São José do Pinhal, 1990. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1990. (139p.), p.41.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.87-113.

FERNÁNDEZ de CORDOVA, J.; GALLEGO, F.J. Control de la cochinilla de la encina (*Asterolecanium ilicicola*, Targioni, 1892) mediante la inyección de insecticidas al tronco del árbol. **Boletín de Sanidad Vegetal - Plagas**, v.23, p.607-612, 1997. Disponível em: <http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/plagas/BSVP-23-04-607-612.pdf>
Acesso em 06/03/2009.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R.; BARRANCO, D.; BENLLOCH, M. Overcoming iron chlorosis in olive and peach trees using a low-pressure trunk-injection method. **HortScience**, v. 28, n. 3, p.192–194, 1993.

FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R.; GALLEGO, F.J.; BENLLOCH, M.; MEMBRILLO, J.; INFANTE, J.; PEREZ de ALGABA, A. Treatment of oak decline using pressurized injection capsules of antifungal materials. **European Journal of Forest Pathology**, v. 29, n.1, p. 29–38, 1999.

FONTES, R.L.F.; COX, R. Iron deficiency and zinc toxicity in soybean grown in nutrient solution with different levels of sulfur. **Journal of Plant Nutrition**, v.21, n.8, p.1715-1722, 1998.

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, n.22, p.237-247, 1970.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; COELHO, F.A.S. Levantamento do estado nutricional de cafezais de São Paulo, pela análise foliar. I. Solo massapé – salmourão. **Bragantia**, v.26, n.7, p.103-117, 1967.

GOMES, I.A.C.; CASTROII, E.M.; SOARES, A.M.; ALVES, J.D.; ALVARENGA, M.I.N.; ALVES, E.; BARBOSA, J.P.R.A.D; FRIES, D.D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. *Ciência Rural*, v.38, n.1, p.109-115, 2008.

GOULART, P.F.P.; ALVES, J.D.; CASTRO, E.M.; FRIES, D.D.; MAGALHÃES, M.M.; MELO, H.C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.662-666, 2007.

GRUSAK, M.A.; PEARSON, J.N.; MARENTES, E. The physiology of micronutrient homeostasis in field crops. **Field Crops Research**, v.60, p.41-56, 1999.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. p.289-302.

GUPTA, B. Correlation of tissues in leaves. Absolute stomatal numbers. **Annals of Botany**, v.25, n.97, p.71-77, 1961.

HALDAR, M.; MANDAL, L.N. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, cooper, iron and manganese nutrition of rice. **Plant Soil**, v.59, p.415-425, 1981.

HAMILTON, M.A.; WESTERMANN, D.T.; JAMES, D.W. Factors affecting zinc uptake in cropping system. **Soil Science Society American Journal**, v.57, p.1310-1315, 1993.

HUERTA, S.A. Par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. **Cenicafé**, v.14, n.2, p.111-128, 1963.

HURLEY, A.K.; WALSER, R.H.; DAVIS, T.D.; BARNEY, D.L. Net photosynthesis, chlorophyll, and foliar iron in apple trees after injection with ferrous sulfate. **Hortscience**, v.21, p.1029-1031, 1986.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, v.34, p.197-224, 1981.

JOHANSEN, D.A. **Plant Microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523p.

JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles, University of California, 1959. v.766, p.32-33.

KADMAN, A.; COHEN, A. A rapid method for curing chlorotic avocado trees. **California Avocado Society**, Yearbooks, v.57, p.159-165, 1973-74. Disponível em: http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_57_1973/CAS_1973-74_PG_159-165.pdf

Acesso em 06/03/2009

KAYA, C.; BURTON, M.A.S.; HIGGS, D. Responses of tomato CVs grown to fruit-harvest stage under zinc stress in glasshouse conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.2, p.369-382, 2001.

KAYA, C.; HIGGS, D. Inter-relationships between zinc nutrition, growth parameters and nutrient physiology in a hydroponically grown tomato cultivar. **Journal of Plant Nutrition**, v.24, n.10, p.1491-1503, 2001.

KITAGISHI, K.; OBATA, H.; KONDO, T. Effect of zinc deficiency on 80S ribosome content of meristematic tissues of rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v.33, p.423-429, 1987.

KLEPPER, B.; KAUFMANN, M.R. Removal of salt from xylem sap by leaves and stems of guttating plants. **Plant Physiology**, v.41, p.1743-1747, 1966.

LARBI, A.; MORALES, F.; ABADIA, J.; ABADIA, A. Effects of branch solid Fe sulphate implants on xylem sap composition in field-grown peach and pear: changes in Fe, organic anions and pH. **Journal of Plant Physiology**, v.160, p.1473-1481, 2003.

LAVIOLA, B.G.; MAURI, A.L.; MARTINEZ, H.E.P.; ARAÚJO, E.F.; NEVES, Y.P. Influência da adubação na formação de grãos moça e no tamanho de grãos de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v.1, n.1, p.36-42, 2006.

LONERAGAN, J.F.; KIRK, G.J.; WEBB, M.J. Translocation and function of zinc in roots. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, n.9-16, p.1247-1254, 1987.

LOPES, R.P. **Efeito da luz na qualidade (cor e bebida) de grãos de café (*Coffea arabica* L.) durante a armazenagem.** Viçosa: UFV, 1988. 131p. (Mestrado em Engenharia Agrícola).

LOVATT, C.J. Improving fruit set and yield of 'hass' avocado with a spring application of boron and/or urea to the bloom. **California Avocado Society, Yearbooks**, v.78, p.167-173, 1994. Disponível em:
http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_78_1994/cas_1994_PG_167-173.pdf
Acesso em 06/03/2009.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 253p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação.** 3ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 607p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro:** colheitas econômicas máximas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.G.; GUIMARÃES, P.T.G. Effect of micronutrients on coffee grown on Latin American. **Journal of Coffee Research**, v.13, n.3, p.64-77. 1983.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALTA, M.R.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, J.D.; GUIMARÃES, P.T.G. Absorção e translocação de zinco aplicado via foliar em mudas de cafeeiro. **Revista Ceres**, v.50, n.288, p.251-259, 2003.

MALTA, M.R.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; SILVA, F.A.M. Avaliação da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) fertilizado com diferentes fontes e doses de potássio. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n.5, especial café, p.9-14, 2002.

MALTA, M.R.; PEREIRA, R.G.F.A.; CHAGAS, S.J.R. Condutividade elétrica e lixiviação de potássio do exsudato de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar essas avaliações. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.5, p.1015-1020, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**, 2ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARSH, D.B.; WATERS JR, L.; ASCHER, P.D. The use of a split-root technique to study Zn movement and activity in a nodulating cowpea root system. **HortScience**, v.20, n.3, p.425-427, 1985.

MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ÁLVAREZ V., V.H.; MENEZES, J.F.S.; NEVES, Y.P.; OLIVEIRA, J.A.; ALVARENGA, A.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**. 2ed. Viçosa: Epamig, 2004. 60p. (Boletim Técnico; n.72).

MARTINEZ, H.E.P.; ZABINI, A.V.; FRANCO, I.A.L.; NOVAIS, R.F. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, v.35, p.491-497, 2005.

MARTINS, D.R.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Qualidade do grão e da bebida em cafeeiros tratados com lodo de esgoto. **Bragantia**, v.64, n.1, p.115-126, 2005.

MATIELLO, J.B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1997. 139p.
MAZZAFERA, P. Mineral nutrition and caffeine content in coffee leaves. **Bragantia**, v.58, n.2, p.387-391, 1999.

MELLO, E.M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D. Efeito da aplicação foliar de sulfato de zinco na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.1, p.84-95, 1999.

MENDONÇA, L.M.V.L.; PEREIRA, R.G.F.A.; MENDES, A.N.G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.2, p. 239-243, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4ed. Berna: Internacional Potash Institute, 1987. 687p.

MILLS, H.A.; JONES JR., J.B. **Plant analysis handbook II**. 2ed., Athens: Micro-Macro-Publishing, 1996. 422p.

MISRA, A.; RAMANI, S. Inhibition of iron absorption by zinc induced Fe-deficiency in Japanese mint. **Acta Physiological Plantarum**, v.13, n.1, p. 37-42, 1991.

MOREIRA, R.F.A.; TRUGO, L.C.; DE MARIA, C.A.B. Componentes voláteis do café torrado. Parte II. Compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. **Química Nova**, v.23, n.2, 2000.

MURPHY, S.T.; MOORE, D. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. **Biocontrol News and Information**, v.11, p.107–117, 1990.

NASSER, P.P.; CHALFOUN, S.M. Eficiência da separação de grãos de café de acordo com o tamanho dos grãos de café na análise da qualidade da bebida pelo método químico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1o, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café; MINASPLAN, 2000. v.1, p.737-739.

NAVROT, J.; BANIN, A. Trunk implanted zinc-bentonite as a source of zinc for apples trees. **Plant and Soil**, v.69, p.85-95, 1982.

NOGUEIRA, M.; TRUGO, L.C. Distribuição de isômeros de ácido clorogênico e teores de cafeína e trigonelina em cafés solúveis Brasileiros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p.296-299, 2003.

O'BRIEN, T.P.; FEDER, N.; McCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v.59, p.368-373, 1964.

OKASAKI, K.R.; TAKAMIDOH, K.; YAMANE, I. Adsorption of heavy metal cations on hydrated oxides and oxides of iron and aluminum with different crystallinities. **Soil Science Plant Nutrition**, v.32, p.523-533, 1986.

PARKER, D.R.; AGUILERA, J.J.; THOMASON, D.N. Zinc-phosphorus interaction in two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in chelator-buffered nutrient solutions. **Plant Soil**, v.143, n.1, p.163-177, 1992.

PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v.45, n.281, p.1829-1835, 1994.

PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Uptake and distribution of ⁶⁵Zn and ⁵⁴Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn. I- During vegetative growth. **Journal of Experimental Botany**, v.46, n.288, p.833-839, 1995.

PEGG, K.; WILEY, A.W.; HARGREAVES, P.A. Phosphonic (phosphorous) acid treatments control Phytophthora diseases in avocado and pineapple. **Australasian Plant Pathology**, v.19, n.4, p.122-124, 1990.

PEREIRA, F.J. **Caracterização das modificações morfo-anatômicas e bioquímicas, em ciclos de seleção do milho Saracura, para tolerância ao encharcamento do solo**. Lavras: UFLA, 2008. 78p. (Mestrado em Fisiologia Vegetal).

PEREIRA, J.E.; CRAFTS, A.S.; YAMAGUCHI, S. Translocation in coffee plants. **Turrialba**, v.13, n.2, p.64-79, 1963.

PHAIR, W.E.; ELLMORE, G.S. Improved trunk injection for control of dutch elm disease. **Journal of Arboriculture**, v.10, n.10, p.273-278, 1984.

PHELAN, P.L.; NORRIS, K.H.; MASON, J.F. Soil-Management history and host preference by *Ostrinia nubilalis*: Evidence for plant mineral balance mediating insect-plant interactions. **Environmental Entomology**, v.25, n.6, p.1329-1336, 1996.

PIMENTA, C.J. **Época de colheita e tempo de permanência dos frutos à espera da secagem, na qualidade do café (*Coffea arabica* L.)**. Lavras: UFLA, 2001. 145p. (Doutorado em Ciência de Alimentos).

PIMENTA, C.J.; VILELA, E.R. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) colhido em sete épocas diferentes na região de Lavras-MG. **Ciência e agrotecnologia**, Edição Especial, p.1481-1491, 2002.

PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grão de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida.** Piracicaba: ESALQ-USP, 1992. 125p. (Doutorado em Fitotecnia).

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; PARADELA FILHO, O.; CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I. Aspectos estruturais de cafeeiro infectado com *Xylella fastidiosa*. **Bragantia**, v.57, 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051998000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt
Acesso em:21/05/2009

RAESE, J.T.; PARISH, C.L. Mineral analysis and performance of chlorotic pear trees sprayed or injected with iron. **Journal of Plant Nutrition**, v.7, p.243-250, 1984.

RAESE, J.T.; PARISH, C.L.; STAIFF, D.C. Nutrition of apple and pear trees with foliar sprays, trunk injections or soil applications of iron compounds. **Journal of Plant Nutrition**, v.9, p.987-999, 1986.

RAMAIAH, P.K.; RAO, M.V.K.; CHOKKANNA, N.G. Zinc deficiency and aminoacids of coffee leaves. **Turrialba**, v.14, n.3, p.136-139, 1964.

REIL, W.O.; BEUTEL, J.A. A pressure machine for injecting trees. **California Agriculture**, v.30, p.4–5, 1976.

REIS JR., R.A.; MARTINEZ, H.E.P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.537-542, 2002.

REIS, P.R.; SOUZA, J.C. Pragas do cafeeiro. RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 323-378.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant analysis: in interpretation manual**. Melbourne: Inkata Press, 1988. 218p.

ROACH, W.A. Plant injection as a physiological method. **Annals of Botany**, v.3, n.9, p.155–227, 1939.

RODRIGUES, L.A.; SOUZA, A.P.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; FONTES, P.C.R. Absorção e translocação de zinco em feijoeiro aplicado via foliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, p.111-115, 1997.

ROSOLEM, C.A.; SACRAMENTO, L.V.S.; OLIVEIRA, D.M.T. Kinetics of zinc uptake and anatomy of roots and leaves of coffee trees as affected by zinc nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v.28, p.2101-2112, 2005.

SALAMI, A.U.; KENEFICK, D.G. Stimulation of growth in zinc-deficient corn seedlings by the addition of tryptophan. **Crop science**, v.10, p.291-294, 1970.

SÁNCHEZ-ZAMORA, M.A.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Uptake and distribution of trunk injections in conifers. **Journal of Arboriculture**, v.30, n.2, p.73-79, 2004.

SANTA MARIA, G.E.; COGLIATTI, D.H. Bidirectional Zn-fluxes and compartmentation in wheat seedling roots. **Journal of Plant Physiology**, v.132, n.3, p.312-325, 1988.

SCHÖNHERR, J.; HUBER, R. Plants cuticles are polyelectrolytes with isoelectric points around three. **Plant Physiology**, v.59, n.2, p.145-150, 1977.

SHARMA, C.P.; SHARMA, P.N. Mineral nutrient deficiencies affect plant water relations. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, n.9-16, p.1637-1643, 1987.

SHARMA, K.N.; DEB, D.L. Effect of organic manuring on zinc diffusion in soils of varying texture. **Journal of Indian Society of Soil Science**, v.36, n.1, p.219-224, 1988.

SHARMA, P.N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S.C.; SHARMA, C.P. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). **Plant and Soil**, v.124, p.221-225, 1990.

SHARMA, P.N.; CHATTERJEE, C.; SHARMA, C.P.; AGARWALA, S.C. Zinc deficiency and anther development in maize. **Plant and Cell Physiology**, v.28, n.1, p.11-18, 1987.

SHEARER; B.L.; FAIRMAN, R.G. A stem injection of phosphite protects *Banksia* species and *Eucalyptus marginata* from *Phytophthora cinnamomi* for at least four years. **Australasian Plant Pathology**, v. 6, n.1, p.78–86, 2007.

SHUMAN, L.M. Effect of ionic strength and anions on zinc adsorption by two soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1434-1442, 1986.

SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G. Qualidade dos grãos de café em função de doses de potássio. **Acta Scientiarum**, v.24, n.5, p.1291-1297, 2002.

SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHAGAS, S.J.R.; COSTA, L. FONTES E Doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.3, p.335-345, 1999.

SILVA, J.B.S. **Influencia de doses de sulfato de zinco, aplicadas por via foliar, sobre a produção do cafeeiro.** Lavras: ESAL, 1979. 62p. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

SILVA, L.M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V.J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botânica Brasileira**, v.19, n.1, p.183-194, 2005.

SILVA, S.L.O. **Respostas biofísicas, bioquímicas e anatômicas de plantas de *Coffea arabica* L. Em condições contrastantes de disponibilidade de radiação.** Lavras: UFLA, 2002. 45p. (Mestrado em Fisiologia Vegetal).

SILVA, V.A. **Influência dos grãos defeituosos na qualidade do café (*Coffea arabica* L.) orgânico.** Lavras: UFLA, 2005. 120p. (Mestrado em Ciência dos Alimentos).

SIMS, J.T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.367-373, 1986.

SIQUEIRA, H.H.; ABREU, C.M.P. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.3, n.1, p.112-117, 2006.

TAGWIRA, F.; PIHA, H.; MUGWIRA, L. Zinc studies in Zimbabwean soil: effects of pH and phosphorus on Zn absorption by two Zimbabwean soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.24, p.701-716, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TRUGO, L.C.; MACRAE, R. Chlorogenic Acid Composition of Instant Coffees. **Analyst**, v.109, p.263-266, 1984.

TSUI, C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. **American Journal of Botany**, v.35, p.172-180, 1948.

VIANA, J.J.S. **Aplicação de um modelo mundial para cafés diferenciados por origem**. Viçosa: UFV, 2003. 110p. (Doutorado em Economia Aplicada)

VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 103p.

VOLTAN, R.B.Q.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Variação na anatomia foliar de cafeeiro submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.4, n.2, p.99-105, 1992.

WEBB, W.J.; LONERAGAN, J.F. Zinc translocation to wheat roots and its implications for a phosphorus/zinc interaction in wheat plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.13, n.12, p.1499-1515, 1990.

WENE, G.P.; RONEY, J.N.; STEDMAN, S. Control of the elm leaf beetle in Arizona. **Journal of Economic Entomology**, v.61, n.5, p.1180-1182, 1968.

WILLSON, K.C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFORD, N.N., WILLSON, K.C. (Eds.). **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London e Sidney: Croom Helm, 1985, part 6, p.135-156.

WORLEY, R.E.; LITTRELL, R.H.; POLLES, S.G. Pressure trunk injection promising for pecan and other trees. **HortScience**, v.11, n.6, p.590-591, 1976.

YAMADA, Y.; WITTEWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. Penetration of ions through isolated cuticles. **Plant Physiology**, v.39, p.28-32, 1964.

APÊNDICE

Tabela 1A – Resumo da análise de variância do conteúdo foliar de zinco em folhas jovens de quatro variedades de cafeeiros submetidos a três tipos de fornecimento de zinco dos 6 até até 536 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV) (%)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		6 DIAS	14 DIAS	30 DIAS	43 DIAS	76 DIAS	89 DIAS	96 DIAS
BLOCO	2	1,0326	0,1170	0,1481	1,2696	3,0660	0,01835	6,9714
TRATAMENTO (T)	2	0,1531 ^{ns}	27,0866**	1,6277**	0,5396**	4,9400 ^{ns}	0,4523**	2,0561**
VARIEDADE (V)	3	0,1272 ^{ns}	3,0802 ^{ns}	0,2841*	0,2180 [◊]	0,8571 ^{ns}	0,02424 ^{ns}	0,2729 ^{ns}
T x V	6	0,0624 ^{ns}	2,1504 ^{ns}	0,0628 ^{ns}	0,0499 ^{ns}	1,5445 ^{ns}	0,1487*	0,2191 ^{ns}
RESIDUO	22	0,0640	3,7530	0,0920	0,0817	2,7815	0,05620	0,2925
CV		20,16	79,88	21,29	15,95	22,83	14,26	16,45

Cont.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		111 DIAS	125 DIAS	154 DIAS	195 DIAS	203 DIAS	217 DIAS	238 DIAS
BLOCO	2	0,0808	0,0833	1,5866	0,5421	0,4480	0,0413	0,0996
TRATAMENTO (T)	2	0,6156**	0,3780**	1,3410 [◊]	4,4379**	0,3692*	0,5955**	0,3243*
VARIEDADE (V)	3	0,0242 ^{ns}	0,0311 ^{ns}	0,3394 ^{ns}	0,3750 ^{ns}	0,0038 ^{ns}	0,4822**	0,1389 [◊]
T x V	6	0,0275 ^{ns}	0,1327 [◊]	0,4557 ^{ns}	0,7451 [◊]	0,0535 ^{ns}	0,1896 [◊]	0,0380 ^{ns}
RESIDUO	22	0,0801	0,0616	0,3355	0,3151	0,0690	0,0847	0,0570
CV		19,24	14,12	26,12	28,67	19,82	26,53	20,38

Cont.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS						
		328 DIAS	336 DIAS	350 DIAS	3645 DIAS	385 DIAS	392 DIAS	406 DIAS
BLOCO	2	8,4372	1,1659	2,0871	1,7836	2,5311	0,7039	0,1544
TRATAMENTO (T)	2	5,3274*	0,6159 ^{ns}	1,6513**	0,9553 ^{ns}	1,9994**	0,4601 ^{ns}	0,0864 ^{ns}
VARIEDADE (V)	3	0,7360 ^{ns}	0,1589 ^{ns}	0,1318 ^{ns}	0,5447 ^{ns}	0,3355*	0,5334 ^{ns}	0,229 ^{ns}
T x V	6	2,8329 ^{ns}	0,5207 ^{ns}	0,2082 ^{ns}	0,9246 ^{ns}	0,1066 ^{ns}	0,5484 ^{ns}	0,0487 ^{ns}
RESIDUO	22	1,3993	0,4814	0,2545	0,7627	0,0885	0,3876	0,2310
CV		53,00	50,72	39,52	103,97	21,18	36,87	27,26

Cont.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		453 DIAS	477 DIAS	497 DIAS	537 DIAS
BLOCO	2	1,8072	0,6512	0,0367	1,5924
TRATAMENTO (T)	2	0,4077 [◇]	0,4615 ^{ns}	0,1274 ^{ns}	0,3353 ^{ns}
VARIEDADE (V)	3	0,0773 ^{ns}	0,1489 ^{ns}	0,0513 ^{ns}	0,1588 ^{ns}
T x V	6	0,0929 ^{ns}	0,3336 ^{ns}	0,1260 ^{ns}	0,3878 ^{ns}
RESÍDUO	22	0,1377	0,2567	0,0957	0,5446
CV		22,06	26,89	18,73	41,27

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

◇ F significativo ao nível de 10% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 2A - Resumo da análise de variância dos conteúdos foliares de Zn em folhas jovens de cafeeiro submetidos a três formas de fornecimento de Zn antes da instalação do experimento e o coeficiente de variação (CV) (%)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
Bloco	2	0,5573
Tratamento	5	0,0901 ^{ns}
Resíduo	10	0,1210
CV		42,04

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 3A – Resumo da análise de variância dos conteúdos foliares de Zn em folhas jovens de cafeeiro submetidos a três formas de fornecimento de Zn desde dos 18 até 512 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV) (%)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		18	66	104	119	151
Bloco	2	0,0150	1,7509	0,2291	0,4358	1,9144
Trat.	5	7,3274 ^{**}	1,1767 ^{**}	89,6962 ^{**}	6,3255 ^{**}	14,7701 ^{**}
Resíduo	154	0,4203	0,2760	1,0485	0,2301	0,1973
CV		60,11	35,22	55,68	36,63	41,03

Cont.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		383	393	448	524
Bloco	2	8,6930	3,4374	3,3864	4,6452
Trat.	5	5,3819 [*]	22,8923 ^{**}	17,4752 ^{**}	1,3017 [*]
Resíduo	154	2,0597	0,5092	4,9036	0,5369
CV		74,88	26,43	70,52	30,26

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4A – Resumo da análise de variância dos teores de Zn nas amostras coletadas nas diferentes alturas do caule (15, 55, 95 e 135 cm em relação a superfície do solo) de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn e o coeficiente de variação (CV) (%)¹

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
Bloco	2	240,7314
Tratamento (T)	5	1339,9980**
Resíduo (a)	10	336,9187
Altura (H)	3	6714,2930**
T x H	15	1233,8510**
Resíduo (b)	36	254,2631
Resíduo Combinado	44	274,9270
CV da Subparcela		96,34
CV da Parcela		110,90

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 5A – Resumo da análise de variância dos teores foliar de Zn nos quatro lados (norte, sul, leste e oeste) de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn e o coeficiente de variação (CV) (%)¹

FV	GL	Quadrados Médios
Bloco	2	24,4280
Tratamento (T)	3	6,5893 [◊]
Resíduo (a)	6	2,3539
Lados (L)	3	2,3996 ^{ns}
T x L	9	3,8967 ^{ns}
Resíduo (b)	24	3,2966
Resíduo Combinado	30	3,0609
CV da Subparcela		11,31
CV da Parcela		9,27

[◊] F significativo ao nível de 10% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 6A – Resumo da análise de variância das produções de grãos (kg de café cereja por parcela) dos anos agrícola 2006/2007, 2007/2008 e a produção acumulada das duas safras de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn e os coeficientes de variação (CV) (%)

FV	GL	PRODUÇÃO DE GRÃOS		
		QUADRADOS MÉDIOS		
		2006/2007	2007/2008	Acumulada
Bloco	2	2477,7890	713,8355	5673,1100
Tratamento	5	888,6194 ^{ns}	372,9896**	981,4330 ^{ns}
Resíduo	28	569,7033	93,31491	578,9840
CV		29,75	44,19	23,57

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 7A – Resumo da análise de variância da qualidade da bebida, número de grãos brocados e porcentagem de grãos retidos nas peneiras com diâmetro do crivo maior que 17/64", 16/64" e menores que 14/64" em grãos de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn, nos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 e os coeficientes de variação (CV) (%)

Ano agrícola 2006/2007						
Quadrados Médios						
FV	GL	Bebida	Brocados	Peneiras		
				> 17/64"	16/64"	<14/64"
Bloco	2	516,6667	3,8750	11,6250	32,6667	6,1250
Tratamento	3	194,4444 ^{ns}	30,3750 ^{ns}	68,7778*	42,8194*	0,2917 ^{ns}
Resíduo	18	353,7037	14,1528	17,8009	11,6204	0,2500
CV		27,19	85,99	5,11	30,87	44,44
Ano agrícola 2007/2008						
Quadrados Médios						
FV	GL	Bebida	Brocados	Peneiras		
				> 17/64"	16/64"	<14/64"
Bloco	2	516,6667	10,1667	78,7917	5,5417	0,0938
Tratamento	3	238,8889 ^{ns}	367,1528**	214,2778*	7,1528 ^{ns}	2,6215**
Resíduo	18	257,4074	22,2871	55,1898	5,1343	0,3113
CV		25,00	47,41	13,74	27,33	59,52

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 8A - Resumo da análise de variância do índice colorimétrico (IC-D.O. 425 nm), condutividade elétrica nas diferentes leituras (CE1, CE2, CE3, CE4 e CE5 correspondendo a 1, 2, 3, 4 e 5 horas respectivamente - $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) dos grãos de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn, nos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 e os coeficientes de variação (CV) (%)

ANO AGRÍCOLA 2006/2007							
QUADRADOS MÉDIOS							
Condutividade Elétrica							
FV	GL	IC	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5
Bloco	2	0,0363	1,0349	0,8472	0,2508	6,6750	19,9472
Tratamento	3	0,0048 ^{ns}	2,8578 [◊]	2,4838 ^{ns}	21,3894*	29,1632*	37,7970*
Resíduo	18	0,0151	1,0421	1,1447	6,0323	6,2903	8,9595
CV		13,20	22,26	14,95	22,91	16,66	15,77

ANO AGRÍCOLA 2007/2008							
QUADRADOS MÉDIOS							
Condutividade Elétrica							
FV	GL	IC	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5
Bloco	2	0,0010	0,6629	8,8128	78,3079	5,3491	89,2235
Tratamento	3	0,0002 ^{ns}	34,1798**	202,2283**	530,1567*	545,6737*	796,0449*
Resíduo	18	0,0020	5,1943	37,7778	107,9702	155,5193	169,3114
CV		13,03	8,47	17,54	20,60	19,90	18,20

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

◊ F significativo ao nível de 10% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 9A - Resumo da análise de variância da lixiviação de potássio (Lix K-g kg⁻¹), pH e acidez total titulável (ATT-mL NaOH 100g⁻¹) dos grãos de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn, nos anos agrícolas 2006/2007 e 2007/2008 e os coeficientes de variação (CV) (%)

ANO AGRÍCOLA 2006/2007				
QUADRADOS MÉDIOS				
FV	GL	Lix K	pH	ATT
Bloco	2	0,0116	0,0590	38,5417
Tratamento	3	0,1340**	0,0192 ^{ns}	348,6111 ^{ns}
Resíduo	18	0,0207	0,0156	181,8287
CV		15,67	2,31	9,66
ANO AGRÍCOLA 2007/2008				
QUADRADOS MÉDIOS				
FV	GL	Lix K	pH	ATT
Bloco	2	0,0251	0,0050	78,1250
Tratamento	3	0,1708**	0,0018 ^{ns}	312,5000 ^{ns}
Resíduo	18	0,0280	0,0092	303,8194
CV		23,49	1,62	11,16

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 10A - Resumo da análise de variância dos teores dos ácidos clorogênicos (ACG - g/100g), cafeoilquínicos (ACQ - mg/100g) dicafeoilquínicos (ADICQ - mg/100g) e feruloilquínicos (AFQ mg/100g) dos grãos de cafeeiros submetidos a três formas de fornecimento de Zn, no ano agrícola 2006/2007 e os coeficientes de variação (CV) (%)

QUADRADOS MÉDIOS					
FV	GL	ACG	ACQ	AFQ	ADICQ
Bloco	2	0,6303	396679,3000	1286,2260	26145,3500
Tratamento	3	0,2387 ^{ns}	139970,7000 ^{ns}	479,5866 ^{ns}	12066,1900 ^{ns}
Resíduo	18	0,2404	139095,8000	766,1667	12318,8000
CV		12,03	11,45	9,12	25,01

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 11A - Resumo da análise de variância da espessura da folha (EF), espessura do mesofilo (EM), espessura do parênquima paliçádico (PP), espessura do parênquima lacunoso (PL) e a proporção entre o parênquima paliçádico e o parênquima lacunoso (PPPL) de folhas de cafeeiro com e sem fornecimento de Zn, no ano agrícola 2006/2007 e os coeficientes de variação (CV) (%)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		EF	EM	PP	PL	PPPL
Tratamento	1	788,7640 [◊]	762,3884 [◊]	12,1437 ^{ns}	966,9714*	0,0086 ^{ns}
Resíduo	4	108,2704	162,4323	188,7794	98,5895	0,0118
CV		3,90	5,76	24,68	6,00	31,84

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

◊ F significativo ao nível de 10% de probabilidade.

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.

Tabela 12A - Resumo da análise de variância da espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura da epiderme abaxial (EAB), densidade estomática (DE) e o índice estomático (IE) de folhas de cafeeiro com e sem fornecimento de Zn, no ano agrícola 2006/2007 e os coeficientes de variação (CV) (%)

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		EAD	EAB	DE	IE
Tratamento	1	1,3147 ^{ns}	0,4530 ^{ns}	151,0883 ^{ns}	11,9162 ^{ns}
Resíduo	4	0,5131	5,3038	3619,5630	12,8787
CV		2,71	12,07	37,66	21,85

ns - F não significativo a 10% de probabilidade.