

**ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO,
COMPARTIMENTALIZAÇÃO E
METABOLISMO DO ZINCO APLICADO VIA
FOLIAR EM MUDAS DE CAFEIEIRO (*Coffea
arabica* L.)**

MARCELO RIBEIRO MALTA

2000

1974-75

1974-75

1974-75


1974-75

1974-75

1974-75

MARCELO RIBEIRO MALTA

**ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO, COMPARTIMENTALIZAÇÃO E
METABOLISMO DO ZINCO APLICADO VIA FOLIAR EM MUDAS DE
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**



Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2000

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

Malta, Marcelo Ribeiro

Absorção, translocação, compartimentalização e metabolismo do zinco aplicado via foliar em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) / Marcelo Ribeiro Malta. – Lavras : UFLA, 2000.

57 p. : il.

Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Zinco. 2. Micronutriente. 3. Adubação foliar. 4. *Coffea arabica*. 5. Absorção
6. Translocação. 7. Compartimentalização. 8. Metabolismo. 9. Proteínas. 10.
Aminoácidos. 11. Triptofano. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73891

MARCELO RIBEIRO MALTA

**ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO, COMPARTIMENTALIZAÇÃO E
METABOLISMO DO ZINCO APLICADO VIA FOLIAR EM MUDAS DE
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 11 de dezembro de 2000

Prof. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães


EPAMIG

Prof. Dr. José Donizeti Alves

UFLA

Prof. Dr. Francisco Dias Nogueira

EMBRAPA/EPAMIG



Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A todas as pessoas envolvidas direta e indiretamente no Agronegócio Café, uma das maiores fontes de trabalho e riquezas de nosso país.

OFEREÇO

Ao meu pai, Márcio, que sempre nos incentivou a estudar, dizendo que a melhor herança que um pai pode deixar aos filhos é o estudo. À minha mãe, Elza, pelo carinho e pelos momentos difíceis que soubemos passar juntos.

A toda minha família, que sempre foi um combustível para a execução de mais esta obra.

À minha namorada, Néia, que apesar de não compreender muito as minhas ausências, sempre me apoiou em todos os momentos dessa jornada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade da realização deste curso.

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

Ao Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto pela orientação, atenção dispensada, amizade e por todos os esforços dedicados a este trabalho.

Ao Pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães por ser um dos grandes idealizadores desse trabalho e por acreditar na execução desta obra.

Ao professor Dr. José Donizeti Alves pelas valiosíssimas sugestões durante toda a execução desta obra, e que não dispensou esforços para a sua realização, sempre atencioso e disponível.

Ao professor Dr. Francisco Dias Nogueira pelo exemplo de profissional íntegro, pela inteligência e capacidade, pela amizade, por contribuir em muitas das realizações que tive durante toda a minha vida acadêmica, e a quem posso chamar de “segundo pai”.

A todos os professores da UFLA pela transferência e compartilhamento de conhecimentos durante o curso.

Aos funcionários, que se tornaram meus amigos, do Departamento de Ciência do Solo, Química e Biologia (Fisiologia Vegetal).

Aos amigos do Mestrado pelo convívio, pelos momentos bons e difíceis, nos quais também aprendemos a crescer.

A Janaine pelo indispensável auxílio nas análises de Centrifugação Celular e ao Lucas pela valiosa contribuição na coleta do experimento.

Aos amigos inesquecíveis do Alojamento Estudantil da UFLA: Denis, Tales, Rodrigo, Cabacinha, Alex, Luciano, Duracel, Zózimo, Sidnei, Ariana, Pedro, Juliana, Mara, Rozane, Sérgio, Eduardo, Júlio, Renato, Sirlene, Dimas,

Mário. Aos funcionários e amigos do Laboratório de Qualidade do Café “ Dr. Alcides Carvalho”: Samuel, Eliane, Geraldo, Luiz e Aidene. A Ci pelas valiosas sugestões apresentadas durante a execução desta dissertação.

A todos os demais colegas da vida acadêmica, funcionários e professores com os quais trabalhei, que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta obra e que, porventura, não foram citados.

BIOGRAFIA DO AUTOR

MARCELO RIBEIRO MALTA, filho de Márcio Malta da Silva e Elza Ribeiro da Silva, nasceu em Barroso, Estado de Minas Gerais, aos 12 de junho de 1971.

Formou-se Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Barbacena – MG “Diaulas Abreu”, em 1992.

Em 1993, iniciou o curso de Agronomia na Escola Superior de Agricultura de Lavras, atual Universidade Federal de Lavras, concluindo-o em 1998.

Em novembro de 1998, iniciou o curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Lavras, concluindo-o em dezembro de 2000.

Em abril de 2000, ingressou no Laboratório de Qualidade do Café Dr. “Alcides Carvalho”, na EPAMIG/Lavras, onde desenvolve trabalhos na área de qualidade do café.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	02
2.1 Funções do zinco na planta.....	02
2.2 Absorção, transporte e redistribuição.....	06
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Aspectos Gerais.....	11
3.2 Delineamento experimental.....	12
3.3 Condução do experimento.....	12
3.4 Características avaliadas.....	13
3.4.1 Análise dos teores de zinco no material vegetal.....	13
3.4.2 Proteínas solúveis totais e aminoácidos totais.....	15
3.4.3 Triptofano.....	16
3.5 Análise estatística.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Absorção e translocação de zinco.....	18
4.2 Localização subcelular do zinco.....	26
4.3 Aminoácidos e proteínas.....	34
4.3.1 Aminoácidos.....	34
4.3.2 Proteínas.....	36
4.4 Concentração de triptofano.....	41
5 CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	54

RESUMO

MALTA, Marcelo Ribeiro. Absorção, translocação, compartimentalização e metabolismo do zinco aplicado via foliar em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Lavras: UFLA. 2000. 57p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)*

Conduziu-se um experimento em uma casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras-MG (UFLA), objetivando avaliar a absorção, translocação, compartimentalização e o metabolismo do Zn em plantas de cafeeiro na fase de mudas após a pulverização com este micronutriente. As mudas foram cultivadas em solução nutritiva sem Zn durante um período de quatro meses. Após esse período foram aplicados os tratamentos. As plantas foram pulverizadas com sulfato de zinco a 0,6 % na quantidade de 15 ml de calda, pulverizada segundo a posição de aplicação (basal: 06 pares de folhas inferiores ou apical: 06 pares de folhas superiores, além dos ramos plagiotrópicos). As plantas foram coletadas nos tempos: 0 (testemunha), 12, 24, 48 ou 72 horas após aplicação de $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$. As mudas foram então divididas em: raízes, caule (subdividido em caule apical e basal) e folhas (folhas da região apical, basal e folhas dos ramos plagiotrópicos). No caule, raízes e na metade das folhas foi determinado o teor total de Zn. As folhas foram divididas ao meio, sendo uma metade de cada folha utilizada para a avaliação do teor total de Zn e a outra metade foi submetida ao fracionamento celular por centrifugação diferencial, para obtenção dos teores de Zn das frações: parede celular, cloroplasto e da fração “solúvel” (que inclui o suco celular, vacuolar e organelas subcelulares, com exceção dos cloroplastos). Foram determinadas, também, a concentração foliar de aminoácidos totais, proteínas solúveis totais e triptofano. Pelos resultados obtidos, observou-se que o Zn foi rapidamente absorvido pelas folhas de cafeeiro, independente da posição aplicada, o que pode ser comprovado pelos maiores teores deste nutriente na fração subcelular “solúvel”. Pela análise de Zn total, observou-se que praticamente não houve translocação do Zn quando aplicado na posição basal. Já quando foi aplicado na posição apical, observou-se o seu transporte para a base, sugerindo um transporte basípeto, ou seja, via floema. Entretanto, ao analisar os resultados da centrifugação celular, observou-se mobilidade acrópeta e basípeta do Zn. Observou-se aumento nas concentrações de aminoácidos totais e proteínas totais após a pulverização com Zn. Observou-se, também, redução nas concentrações de triptofano após a aplicação de Zn no cafeeiro.

*Comitê Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Orientador), Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG, José Donizeti Alves – UFLA.

ABSTRACT

MALTA, Marcelo Ribeiro. Uptake, translocation, compartmentalization and metabolism of zinc applied on leaves of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). Lavras: UFLA. 2000. 57p. (Dissertation of Master in Agronomy/Soils and Plant Nutrition) *

An experiment in a greenhouse of the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras-MG (UFLA), was conducted, aiming to evaluate uptake, translocation, compartmentalization and the metabolism of zinc in coffee trees at the phase of seedling after spraying with zinc. The seedlings were grown in nutrient solution without zinc for a four months period. After that time were applied the treatments. The plants were sprayed with 0,6% zinc sulphate in the amount of 15 mL of syrup sprayed according to the position of application (basal: 06 pairs of lower leaves or apical: 06 pairs of upper leaves, in addition to the plagiotropic branches). The plants were collected in the times: 0 (control), 12, 24, 48 or 72 hours after application of $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$. The seedlings were then divided into roots, stem (subdivided into apical and basal stem), and leaves (leaves of the basal and apical region and leaves of plagiotropic branches). On the stem, roots and on the half of the leaves were determined the total content of Zn. The leaves were divided into half, the half of each leaf being utilized for evaluation of the total content of zinc and the other half was submitted to the cell fractioning by differential centrifugation for obtaining the zinc contents of the fractions: cell wall, chloroplast and "soluble" fraction (wich includes cell, vacuolar juice and subcell organelles, with exception of chloroplasts). The leaf concentration of total amino acids, soluble total proteins and tryptophan was also determined. From the results obtained, it was found that Zn was fast uptake by the coffee tree leaves, regardless of the position applied, which may be confirmed by the highest contents of this nutrient at the "soluble" subcelular fraction. From the analysis of total zinc, it was observed that pratically there was no translocation of zinc when applied at the basal position. But when it was applied at the apical position, its transport to the basis was observed, suggesting a basipetal transport, that is, by floem. However, in observing the results of cell centrifugation, acropetal and basipetal mobility of zinc was found. Increased concentrations of total aminoacids and total proteins after spraying with zinc were observed. Also, reduction in the concentrations of tryptophan after application of zinc on the coffee tree was observed.

* Guidance Committee: Antônio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Adviser); Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG.; José Donizeti Alves – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes são exigidos pelas culturas em pequenas quantidades, o que não diminui a sua importância para se obter altas produtividades. Tal observação se fundamenta nos critérios de essencialidade dos nutrientes e na lei do mínimo, pela qual a produção pode ser comprometida por aquele nutriente que se encontra em menor disponibilidade para a cultura.

Os cafezais brasileiros, até a década de 60, eram cultivados em áreas recém desmatadas, com solos de média a alta fertilidade. Com restrições à utilização de muitas dessas áreas, além do cultivo destas com outras culturas, como a soja, cana, etc, e a necessidade de melhores topografias para a mecanização, o cultivo do cafeeiro se expandiu para solos menos férteis, o que contribuiu para o surgimento de deficiências nutricionais.

Vários fatores devem ser observados no manejo adequado da lavoura cafeeira quanto à utilização de micronutrientes, como: a utilização de solos com baixa fertilidade natural, em particular os solos do cerrado, onde as deficiências de micronutrientes são muito comuns; a utilização de cultivares com alto potencial produtivo e, conseqüentemente, com alta demanda em nutrientes; a utilização de fertilizantes concentrados que possuem uma quantidade insuficiente ou nula de micronutrientes, além do próprio esgotamento das reservas naturais de micronutrientes dos solos durante anos de cultivo sem a adequada reposição destes.

Entre os micronutrientes, o zinco (Zn) é um dos mais limitantes na nutrição do cafeeiro, pois comumente limita a produção desta cultura em nossas condições. Até a década de 50, não se conheciam problemas com este nutriente nos cafezais brasileiros. Posteriormente a essa década, a deficiência de Zn foi identificada por vários pesquisadores, devido, em grande parte, à inobservância do adequado manejo das lavouras cafeeiras. Apesar das pesquisas realizadas

com este micronutriente, ainda existem muitos pontos a serem esclarecidos, como os mecanismos que atuam na sua absorção, transporte e redistribuição na planta, existindo dúvidas sobre qual é o sentido mais eficiente de sua translocação no cafeeiro, qual é a forma de Zn na planta que estaria prontamente disponível para o exercício de suas atividades fisiológicas, dentre outros questionamentos. Também existem informações conflitantes em relação ao metabolismo do Zn, existindo controvérsias se a deficiência deste nutriente pode afetar direta e indiretamente o metabolismo do cafeeiro. Segundo vários autores, o Zn é responsável direto pela síntese do triptofano, um precursor do AIA (Ácido Indolacético), e indireto pela síntese de proteínas.

Baseado nas observações e questionamentos acima citados, este trabalho teve como objetivos avaliar a absorção, translocação e redistribuição do zinco aplicado via foliar, sua compartimentalização subcelular e o metabolismo do Zn em plantas de cafeeiro na fase de mudas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Funções do zinco na planta

Todas as deficiências nutricionais interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas, mas a deficiência de Zn é tão acentuada que termos como “folha pequena” e “formação de roseta” têm constantemente sido aplicados a essa condição (Epstein, 1975). A “formação de roseta” é decorrente da falta de alongação dos internódios, fazendo com que as folhas de vários internódios fiquem muito próximas umas das outras e no mesmo plano, à maneira de uma roseta. Além desses sintomas, também são observadas a morte das gemas terminais e menor vingamento floral (Faquin, 1994). Grande parte dos sintomas de deficiência de Zn está associada a distúrbios no metabolismo das

auxinas, principalmente do ácido indolacético (AIA). O modo de ação do Zn no metabolismo das auxinas ainda não está bem esclarecido (Epstein, 1975; Faquin, 1994; Marschner, 1995). O que se sabe é que o Zn é necessário para a síntese do triptofano, que é um aminoácido precursor do AIA (Válio, 1979; Mengel e Kirby, 1987). Quando o triptofano é fornecido ao ápice de coleóptiles, rapidamente é metabolizado em AIA. Algumas plantas deficientes em Zn apresentam concentrações muito baixas de AIA, podendo ter seu crescimento normalmente reativado pela aplicação de triptofano ou AIA (Válio, 1979). Um outro indicio de que o triptofano é precursor do AIA foi citado por esse mesmo autor quando tratou plantas de ervilha no ápice com serina tritiada e indol com carbono radiativo. Posteriormente foram extraídos triptofano e AIA, verificando-se que se encontravam marcados (^3H e ^{14}C). Como a serina e o indol são conhecidos precursores do triptofano, isso sugere que o AIA se originou desse aminoácido. A concentração do ácido indolacético em um tecido deficiente em Zn diminui antes mesmo do aparecimento de sintomas visuais (Epstein, 1975). Se fornecermos Zn à planta deficiente, o teor de AIA aumenta e há o retorno do crescimento (Skoog, 1940). Este autor concluiu, ainda, que o Zn é exigido para a manutenção da auxina em um estado ativo e não para a sua síntese. Tsui (1948), corrobora com a afirmação de que o Zn é essencial para a síntese do triptofano. Em um cultivo com tomateiro o autor citado, observou que nas plantas com deficiência havia redução na elongação, baixa atividade da auxina e baixo conteúdo de triptofano. Salami e Kenefick (1970), trabalhando com milho em solução nutritiva, observaram que os sintomas de deficiência de Zn podem ser eliminados se for adicionado Zn ou triptofano à solução nutritiva, o que é uma evidência indireta da necessidade do Zn para serem mantidos teores adequados de triptofano. Por outro lado, outros autores afirmam que em plantas deficientes em Zn há um acúmulo de triptofano. Em estudos com cafeeiros deficientes em Zn, Ramaiah, Rao e Chokkanna (1964) observaram um acúmulo da maioria dos

aminoácidos identificados. Segundo esses autores, os resultados sugerem que um acúmulo de alguns aminoácidos em concentrações tóxicas, no caso de deficiência antes da aparição de sintomas visuais na planta, poderia explicar as anormalidades foliares que surgem nas brotações subsequentes. Foi verificado, também, que a presença de triptofano em folhas deficientes em Zn, e a ausência deste em folhas normais, podem ser explicadas como um possível distúrbio causado no sistema catalítico na “conversão” do triptofano para ácido indolacético nas plantas deficientes. Takaki e Kushizaki (1970), trabalhando com milho, encontraram altos teores de triptofano em plantas deficientes e concluíram ser o Zn requerido no metabolismo do triptofano a auxina via triptamina.

Mohideen et al. (1994), trabalhando com milho, tomate e arroz em solução nutritiva na ausência e presença de Zn, encontraram pequenas quantidades de triptofano livre em plantas cultivadas em sua presença; entretanto, a concentração deste aminoácido foi muito pequena quando comparada com as concentrações naquelas plantas crescidas em solução nutritiva sem Zn. Domingo et al. (1992), em um cultivo de rabanete, encontraram altas concentrações de triptofano em plantas deficientes em Zn, em relação às plantas controle.

Em plantas deficientes em Zn há uma desestruturação dos ribossomos citoplasmáticos (Prask e Plocke, 1971), que promove uma redução do conteúdo ribossomal, e conseqüentemente, da síntese protéica (Kitagishi, Obata e Kondo 1987; Obata e Umebayashi, 1988; Marschner, 1995), gerando acúmulo de aminoácidos livres (Kitagishi e Obata, 1986; Marschner, 1995). O Zn está estreitamente envolvido no metabolismo nitrogenado da planta e, conseqüentemente, na síntese proteica (Tsui, 1948; Malavolta, 1980; Mengel e Kirby, 1987; Faquin, 1994). Os teores de proteínas formadas em folhas de

cafeeiros com deficiência em Zn eram menores que em folhas normais, conforme observado por Ramaiah, Rao e Chokkana (1964).

A participação do Zn como constituinte ou ativador de várias enzimas torna claro que o seu papel na regulação do nível auxínico não é o único (Epstein, 1975; Mengel e Kirby, 1987; Marschner, 1995). Existem autores que afirmam que a principal função do Zn no metabolismo das plantas é a de ser um componente e/ou ativador enzimático (Lindsay, 1972; Malavolta, Boaretto e Paulino, 1991; Faquin, 1994). Alguns exemplos dessa participação podem ser observados nas desidrogenases (alcóolica, glutâmica e láctica), sintases, carboxilases e isomerases. Para Dechen, Haag e Carmello (1991), o Zn participa como ativador de várias enzimas, como as desidrogenases, proteínases, peptidases e fosfohidrolases, o que implica em dizer que está intimamente relacionado ao metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos.

Em plantas deficientes, a atividade da desidrogenase alcóolica aumenta, mas as consequências no metabolismo da planta não são conhecidas (Marschner, 1995). Ocorre também a redução da sintetase do amido (Jyung et al., 1975).

O Zn controla a atividade da enzima RNase que hidrolisa o RNA, causando a diminuição da síntese protéica, atuando na multiplicação celular, proporcionando menor número e tamanho de células e reduzindo o comprimento de internódios (Malavolta, 1986). Há clara correlação inversa entre o fornecimento de Zn e a atividade da RNase e também entre a atividade da RNase e o conteúdo de proteínas e o crescimento da planta (Jonhson e Simons (1979), citado por Marschner, 1995).

Os sintomas de deficiência de Zn que as plantas apresentam são atribuídos basicamente às funções deste nutriente: na participação da síntese de RNA e proteínas e na síntese do AIA, ocasionando na planta uma menor divisão e alongação celular.

2.2 Absorção, transporte e redistribuição

O fluxo difusivo (difusão) é a forma mais importante de movimento do Zn no solo, devido à baixa concentração deste nutriente na solução do solo (Oliveira et al., 1999).

O Zn é absorvido pelas plantas na forma divalente Zn^{++} ou como parte de quelatos (Dechen, Haag e Carmello, 1991; Melo, 1997), sendo seu transporte ainda muito discutido. Há controvérsias quanto ao mecanismo de absorção, se este é um processo ativo ou passivo, embora muitos trabalhos atestem que a absorção deste nutriente seja tipicamente metabólica (Mengel e Kirby, 1987; Faquin, 1994). Blanco et al. (1972), estudando a absorção de Zn pelo tecido foliar de cafeeiro, concluíram ser este um fenômeno metabólico.

De acordo com Souza (1999), a hipótese de que a absorção radicular do Zn ocorre na forma ativa é a mais aceitável, embora, nas raízes, 90% do Zn total possam ocorrer nos sítios de troca ou adsorvidos na superfície das paredes celulares do parênquima cortical (Mengel e Kirby, 1987). No solo, o Zn pode ocorrer distribuído quimicamente de várias maneiras: na forma de íon ou complexo solúvel na solução do solo; como íon prontamente trocável e adsorvido às cargas negativas de origem orgânica ou inorgânica; e na forma de quelato com ligantes orgânicos ou organominerais, ocluso em óxido de ferro ou de alumínio e ligado à rede cristalina de minerais silicatados primários ou secundários (Siqueira, 1998).

Vários são os fatores que interferem na absorção radicular do Zn, dificultando o seu fornecimento via solo (Fávaro, 1992; Lopes, 1998; Souza, 1999). Outros cátions, em elevadas concentrações, inibem competitivamente a absorção de Zn, assim como as adubações pesadas com fósforo podem induzir a deficiência de Zn. Um dos principais fatores responsáveis pela redução da disponibilidade de Zn para as plantas é a sua adsorção pelo solo (Bar-Yosef,

1979; Shumam, 1979). A absorção do Zn é reduzida pela forte ação adsorviva exercida pelas argilas sobre o Zn, o que fica mais pronunciado em solos mais argilosos, evidenciando o efeito da textura do solo, pois o Zn é mais adsorvido nestes devido ao maior número de sítios de adsorção (Couto et al., 1992; Oliveira et al., 1999).

A adsorção do Zn pelo solo também é influenciada pelo teor de matéria orgânica (Couto et al., 1992; Siqueira, 1998); teores de óxido de ferro, alumínio e manganês (Couto et al., 1992; Muniz, 1995); pH do solo (Lindsay, 1972; Couto et al., 1992; Siqueira, 1998; Oliveira et al., 1999); CTC (Couto et al., 1992; Siqueira, 1998), dentre outros fatores que podem afetar a disponibilidade deste nutriente às plantas. Segundo Lindsay (1972), a solubilidade do Zn no solo é fortemente influenciada pelo pH do solo, decrescendo cerca de 100 vezes para cada aumento de uma unidade de pH.

Devido às limitações da adubação com Zn via solo, tem sido sugerido, alternativamente e com superioridade, o seu fornecimento via foliar (Fávaro, 1992; Rodrigues et al., 1997; Melo, 1997). Em estudos em solução nutritiva envolvendo o cafeeiro, Arzolla, Haag e Malavolta (1962) observaram que a absorção foliar de Zn em cafeeiros foi oito vezes mais intensa que a absorção radicular. Malavolta (1976) também verificou superioridade na eficiência de absorção deste nutriente quando aplicado via foliar, sendo que a absorção de rádio-Zn (Zn^{65}) pelas folhas de um cafeeiro foi de 2,8 a 4 vezes maior que a absorção pelas raízes. Silva (1979), corrigindo a deficiência deste micronutriente através da aplicação foliar com sulfato de Zn, aumentou a produção de uma lavoura cafeeira em 82 %.

Não só a aplicação do Zn via solo apresenta limitações. As respostas à aplicação via folha dependem de processos de penetração do nutriente através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais (Rodrigues et al., 1997). Em função disto, a absorção de Zn

pelas folhas vai depender de vários fatores, como: as características das folhas, particularmente das cutículas que as recobrem, as técnicas de pulverização, as condições climáticas, as características químicas da solução aplicada e, ainda, o estado iônico interno da planta (Pearson et al., 1995; Franco, 1997). Ramani e Kannan (1985) observaram que a natureza do ligante associado com o Zn possui importância na eficiência deste nutriente penetrar através da cutícula e até mesmo translocar-se no tecido vascular. Blanco (1970) relata que a presença de cobre ou boro pode reduzir em 50% a absorção de Zn quando este é aplicado às folhas do cafeeiro; além disso, o cobre confere uma inibição competitiva, e o boro, não competitiva.

A cutícula pode afetar a absorção foliar não só do Zn, mas também de outros nutrientes. A cutícula muitas vezes mascara a absorção real de determinado nutriente, pois pode-se pensar que este foi absorvido pela folha, quando, na realidade, está em grande parte retido nesta (Franco, 1997). Este autor observou que quando se aplicava sulfato de Zn via foliar em cafeeiro e feijoeiro, este ficava adsorvido à cutícula das folhas de ambas as espécies, demonstrando ser a retenção cuticular uma importante barreira à sua absorção. Corroborando a citação acima, Brune, Urbach e Dietz (1994), estudando a compartimentalização do Zn em folhas primárias de cevada, verificaram que a adsorção do Zn pela cutícula foi cerca de 100 vezes mais rápida do que a absorção do nutriente propriamente dita. A cutícula forma, então, uma importante barreira à absorção dos nutrientes. A adsorção na superfície das folhas e a penetração de íons através das cutículas que as recobrem são fatores importantes a serem observados na absorção ativa de íons por suas células (Yamada, Wittwer e Bukovac, 1964; Franco, 1997).

Alguns autores, no intuito de aumentar a absorção do Zn através da barreira de natureza lipídica da cutícula, sugerem a utilização, além de agentes adesivos, de outras substâncias como a uréia (Yamada, Wittwer e Bukovac,

1965) e o cloreto de potássio (Malavolta, 1980; Santinato e Camargo, 1989; Rena, Cordeiro e Alves, 1990; Fávoro, 1992). Malavolta (1980) afirma que a adição de KCl na mesma concentração que o sulfato de Zn proporcionou aumentos na absorção de Zn, inclusive na presença de boro. Garcia e Salgado (1983), de modo semelhante, também obtiveram aumentos na absorção. Já Fávoro (1992), estudando os efeitos da adição da uréia e do cloreto de potássio na absorção do Zn pelas folhas do cafeeiro, verificou que o cloreto de potássio, ao contrário da uréia, aumentou a absorção foliar pelo cafeeiro, parecendo atuar tanto na penetração cuticular como na absorção celular propriamente dita.

✱ O transporte do Zn é um processo ainda muito discutido (Rodrigues et al., 1997). Santa Maria et al. (1988), utilizando Zn marcado em trigo, observaram uma rápida mobilidade deste nutriente na planta. Entretanto, outros autores citam uma baixa mobilidade, classificando este nutriente como parcialmente móvel ou pouco móvel (Malavolta, 1980; Peaslee, Isarangkura e Leggett, 1981; Faquin, 1994; Lopes, 1998), o que dificulta a sua translocação na planta, contribuindo, conseqüentemente, para o aparecimento de sintomas de deficiência nos órgãos mais novos. Silva (1979) observou, em cafeeiros, uma parcial mobilidade do Zn na folha, observando seu transporte na forma de Zn^{++} ligado ao citrato. Entretanto, Fávoro (1992) encontrou baixa mobilidade deste nutriente quando aplicado às folhas do cafeeiro. No campo, os teores de Zn observados por este autor, três dias após a sua aplicação em folhas correspondentes ao terceiro par, não se modificaram aos 30 e 60 dias após, nas mesmas condições. Isto sugere que o Zn absorvido por uma folha madura não era distribuído para outras regiões da planta. Ainda segundo este autor, este fato aliado à observação de baixas concentrações de Zn nas folhas surgidas após as pulverizações, demonstrou a pequena mobilidade do Zn quando aplicado às folhas do cafeeiro. Já Peaslee, Isarangkura e Leggett (1981) observaram, em milho, que a absorção e translocação de Zn eram maiores quando este nutriente

era aplicado em folhas novas, em comparação à aplicação em folhas maduras.

Segundo Welch (1995), citado por Rodrigues et al. (1997), a atividade iônica livre no floema, de todos os micronutrientes metálicos catiônicos, incluindo o Zn, deve ser excessivamente baixa, devido ao alto pH (> 8) e ao alto teor de fósforo (cerca de 14 mM). Sendo assim, esses nutrientes seriam precipitados como óxidos, hidróxidos e fosfatos, devendo, desta forma, apresentarem-se como complexo de metais na seiva do floema para se moverem livremente.

As espécies respondem de maneira diferente à translocação de Zn em relação ao seu estado nutricional. Franco (1997) observou que o feijoeiro apresentou uma maior translocação de Zn em condição de nutrição inadequada, indicando ser o aspecto nutricional um fator importante na maior ou menor translocação de Zn em feijoeiros, o que não ocorreu quando este mesmo autor aplicou Zn nas folhas de cafeeiros. Rodrigues et al. (1997), também trabalhando com feijoeiros, observaram que o Zn é móvel e que os drenos preferenciais dependem do estado nutricional da planta e da forma química do nutriente. Assim, em plantas Zn-deficientes, a melhor fonte utilizada era o Zn-EDTA, porque permitiu melhor redistribuição via floema para os diversos órgãos da planta. Pearson e Rengel (1994) relatam que plantas de trigo crescidas em condições de suficiência e deficiência de Zn também apresentaram um comportamento diferenciado na translocação deste nutriente; entretanto, observaram que as plantas que cresceram em condição de suficiência retranslocaram quantidades maiores que plantas crescidas em condições de deficiência.

Não há um consenso na literatura quanto à dose mais adequada de Zn a ser aplicada via pulverização foliar, nem quanto aos teores foliares de Zn mais adequados ao desenvolvimento e à produção do cafeeiro. Além disso, o teor total pode não estimar a fração prontamente disponível ao metabolismo da planta.

Desta forma, embora algumas vezes obtenham-se teores excessivamente elevados, grande parte deste Zn pode estar excluído dos sítios de maior atividade metabólica, não provocando prejuízos ao metabolismo celular, pelo menos a curto prazo (Fávaro, 1992). Alguns trabalhos sugerem teores adequados à produção do cafeeiro. Silva (1979) encontrou, como níveis críticos, teores entre 15 a 19 mg.kg⁻¹, e Malavolta (1980), 11 a 20 mg.kg⁻¹. Guimarães et al. (1983), estudando os efeitos da aplicação via foliar de doses de sulfato de Zn na produção e na composição mineral das folhas de cafeeiros, observaram que as produções máximas foram obtidas com tratamentos que garantiram, nas folhas, teores de Zn entre 21 e 25 mg.kg⁻¹. Melo (1997), após um estudo de oito anos com cafeeiros, concluiu que o nível crítico se encontra na faixa compreendida entre 10 e 25 mg.kg⁻¹, variando segundo a produtividade. Fávaro (1992) relata que teores de Zn acima de 40 mg.kg⁻¹ reduziram drasticamente a produção de café, sendo que a produção máxima associou-se a um teor foliar de Zn de 20 mg.kg⁻¹.

Do que foi exposto, não se verifica uma concordância na literatura quanto à mobilidade do Zn na planta, qual o teor mais adequado deste nutriente nas folhas, assim como a real importância deste micronutriente no metabolismo do cafeeiro, sendo de fundamental importância estudar a dinâmica deste nutriente para o adequado crescimento e desenvolvimento desta espécie.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aspectos gerais

O experimento foi instalado e conduzido em uma casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de julho a novembro de 1999.

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 4 x 2, sendo o primeiro fator: quatro tempos de coleta após a aplicação de Zn (12, 24, 48 e 72 horas); e o segundo fator: duas posições de aplicação (ápice ou base) na planta, além da testemunha (Tempo de coleta 0, porém sem aplicação de Zn). Utilizaram-se quatro repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso com capacidade de 3 dm³, contendo duas plantas de cafeeiro.

3.3 Condução do experimento

As mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) utilizadas foram do cultivar Acaiá do Cerrado MG 1474, com seis meses de idade no início do experimento.

Antes de serem transplantadas para os vasos, foram levadas para uma casa de vegetação para se aclimatarem. Após duas semanas, foram retiradas dos sacos plásticos, sendo selecionadas. Após as raízes terem sido lavadas com água deionizada para eliminar os resíduos do substrato, foram transplantadas, mantendo-se duas plantas por vaso.

O experimento foi conduzido em solução nutritiva segundo Hoagland e Arnon (1950). O pH da solução nutritiva foi ajustado em $5,5 \pm 0,5$ com ácido ou base, sendo essa solução trocada semanalmente. A aeração foi mantida constante, assim como o volume de solução, por meio de água deionizada.

As mudas inicialmente foram tratadas com solução nutritiva completa (menos o Zn), diluída durante 30 dias. Nos primeiros 15 dias receberam essa solução na proporção 1/4 de força. Após este período, a proporção foi elevada para 1/1 de força durante mais 15 dias. Depois deste período, foi fornecida a

solução nutritiva completa (menos o Zn), sem nenhuma diluição, até a época de coleta do experimento.

Quatro meses após o início do cultivo foram aplicados os tratamentos. As plantas foram pulverizadas com sulfato de Zn a 0,6% mais espalhante adesivo Agril a 0,03%, com 15 ml de calda pulverizado por planta nas superfícies adaxial e abaxial das folhas, segundo a posição de aplicação na planta (basal: 06 pares de folhas inferiores ou apical: 06 pares de folhas superiores, além dos ramos plagiotrópicos), conforme figura 1. As plantas foram coletadas nos tempos: 0 (testemunha), 12, 24, 48 ou 72 horas após aplicação de $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$.

3.4 Características avaliadas

3.4.1 Análises dos teores de zinco no material vegetal

As plantas foram divididas em: raízes, caule (subdividido em caule apical e basal) e folhas (folhas da região apical, basal e folhas dos ramos plagiotrópicos). Todas as partes foram lavadas em água corrente e, posteriormente, em água deionizada. Foram determinados os teores totais de Zn ($mg \cdot kg^{-1}$) no caule, raízes e na metade das folhas. As folhas foram divididas ao meio, sendo metade de cada uma, utilizada para a avaliação do teor total de Zn e a outra metade submetida ao fracionamento celular por centrifugação diferencial, conforme Fávoro (1992), para obtenção dos teores de Zn das frações: parede celular, cloroplasto e da fração solúvel (que inclui o suco celular, vacuolar e organelas subcelulares, com exceção dos cloroplastos).

Para a determinação dos teores totais de Zn, as amostras (metade de cada folha, além do caule e raízes) foram secas em estufa dotada de circulação forçada à temperatura de $70-75^{\circ} C$, até peso constante (± 72 horas). Após a

secagem, foram trituradas em moinho com peneira de 20 mesh e submetidas à mineralização nitroperclórica, em cujo extrato foi quantificado o Zn por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

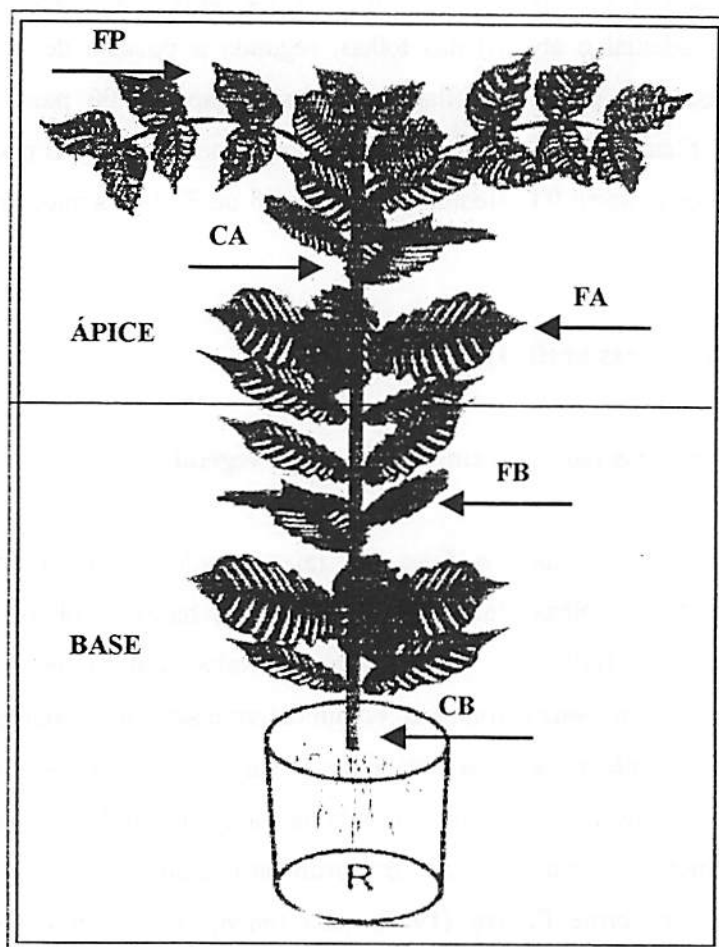


FIGURA 1. Representação esquemática da divisão das mudas de café na coleta: FA – Folhas da região apical; FB – Folhas da região basal; FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; CA – Caule do ápice; CB – Caule da base; R – Raiz.

Para a determinação dos teores de Zn em cada fração (parede celular, cloroplasto e solúvel), utilizaram-se as outras metades restantes das folhas (matéria fresca). Pesou-se 1g da amostra, que foi macerada em almofariz, num meio contendo 5 ml de tampão TRIS-HCl pH 7,5 0,05 M e sacarose 0,3 M. Essa maceração foi realizada a baixa temperatura ($\pm 4^{\circ}$ C), utilizando-se gelo. O extrato obtido foi então submetido ao fracionamento celular, por centrifugação diferencial, segundo Fávoro (1992). Cada fração foi evaporada no próprio bloco digestor, e então digerida com 4 ml de ácido nítrico e 2 ml de ácido perclórico concentrados. O Zn foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

3.4.2 Proteínas solúveis totais e aminoácidos totais.

O extrato foi obtido mediante a maceração em almofariz sob baixa temperatura (4° C) de 1 grama de limbo foliar em 5 mL do meio de extração contendo cloreto de sódio 50 mM (NaCl); tampão Tris HCl pH 7,5 0,1 M; cloreto de magnésio 5 mM ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) e fluoreto de fenilmetilsulfonil 1 mM (PMSF).

Após a maceração, o material foi centrifugado a 10000 rpm durante 30 minutos a 4° C. Após a centrifugação, o sobrenadante (extrato bruto) foi acondicionado em vidros mantidos sob baixa temperatura (freezer a -20° C) para determinação das proteínas solúveis e aminoácidos (aa).

Quantificou-se a concentração de proteínas solúveis pelo método de Bradford (1976). Foram adicionados, em tubos de ensaio, 100 μ l do extrato e 5 mL de reagente de Comassie (0,01% de Comassie blue G-250; 8,5 % de ácido fosfórico e 4,7 % de etanol). Em seguida os tubos foram agitados e incubados a temperatura ambiente por cinco minutos, sendo a absorbância determinada em

espectrofotômetro a 595 nm. A curva padrão foi obtida com soroalbumina bovina (BSA), 1 mg.mL^{-1} , na faixa de 20 a 100 μg .

A concentração de aminoácidos totais foi dosada de acordo com o método de Yemm e Coccking (1955). Adicionaram-se, em um tubo de ensaio, 10 μL do extrato; 0,5 mL do tampão citrato de sódio pH 5,0 a 0,2 M; 1,0 mL de KCN 2% em metil celosolve e 0,2 mL de ninhidrina 5% em metil celosolve. Em seguida os tubos foram agitados e levados ao banho-maria fervente por 20 minutos. Após o resfriamento, completou-se o volume para 4,0 mL com etanol 60% e fizeram-se as leituras em espectrofotômetro a 570 nm. Utilizou-se curva padrão de glicina na faixa de 0,02 a 0,1 μmol .

3.4.3 Triptofano

A concentração de triptofano foi determinada segundo metodologia do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS-EMBRAPA), adaptada de Hernandez e Bates (1969) e Ortega e Bates (1983). O extrato foi obtido mediante a maceração em almofariz sob baixa temperatura (4°C) de 1 grama de limbo foliar em 4,0 mL de acetato de sódio 0,1 M pH 7,0 + papaina (4 mg de papaina/mL de acetato de sódio). Em seguida esse extrato foi transferido para tubos de hidrólise com tampa e homogeneizado em vortex. Esse material ficou incubado a $63^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por 16 horas, sendo agitado de meia em hora por 4 vezes. Após a incubação, foi resfriado à temperatura ambiente e centrifugado a 2500 rpm por 5 minutos. Pipetou-se 1 mL do hidrolizado para tubo de ensaio e adicionaram-se 4 mL da solução C. Agitou-se vigorosamente em vortex, e incubou-se a $63^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por 15 minutos. Resfriou-se à temperatura ambiente. Fez-se a leitura em espectrofotômetro a 560 nm.

Obs. Acertar o aparelho com o branco que terá todos os reagentes, exceto a amostra. A solução C é composta da mistura da solução A ((270 mg de

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 500 μL de H_2O) por 1000 mL de ácido acético glacial. Adicionaram-se 3% de anidrido acético para eliminar interferentes)) + solução B (800 mL de ácido sulfúrico + 200 mL de H_2O), volume por volume. A solução C deverá ser preparada de 1 a 2 horas antes do uso.

Curva Padrão Triptofano:

- Solução padrão triptofano: 50 mg de triptofano/100 mL acetato de sódio 0,1 M pH 7,0.
- 10 μL sol.padrão + 990 μL acetato de sódio + 4 mL reagente C;
- 20 μL sol.padrão + 980 μL acetato de sódio + 4 mL reagente C;
- 30 μL sol.padrão + 970 μL acetato de sódio + 4 mL reagente C;
- 40 μL sol.padrão + 960 μL acetato de sódio + 4 mL reagente C;
- 50 μL sol.padrão + 950 μL acetato de sódio + 4 mL reagente C;
- 60 μL sol.padrão + 940 μL acetato de sódio + 4 mL reagente C;

Cálculo triptofano: $(50 \times \text{abs.}) - 0,018$
% de proteína

3.5 Análise Estatística

Todos os dados foram submetidos às análises de variância e comparados através do teste de Scott e Knott a 5 % de probabilidade. Também foram realizadas análise de regressão em função dos tempos de absorção foliar de Zn. Utilizou-se o programa SISVAR nas análises e adotou-se o nível de significância de 5 % pelo teste F para análise de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Absorção e translocação de zinco

Pela análise de variância, observa-se que houve diferenças significativas ($P < 0,05$) nos teores de Zn, havendo interação significativa das variáveis posição de aplicação x posição coletada x tempo após aplicação de Zn, em mudas de cafeeiro (Tabela 1A do anexo). Os teores de Zn nas mudas variaram segundo a posição de aplicação apical ou basal da planta, nas diferentes posições de coleta, em função dos tempos de coleta após a pulverização (Figura 2). As equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados para as posições de coleta foram quadráticas. Notou-se que os teores de Zn aumentaram nas diferentes posições de coleta, em função dos tempos de coleta, quando a aplicação do nutriente foi efetuada tanto ápice como na base. Blanco, Oliveira e Haag (1971), trabalhando com folhas inteiras de cafeeiro, observaram que nas 24 horas iniciais, a velocidade de absorção de Zn era ascendente, tendendo à estabilização nas 24 horas seguintes. Pelas equações de regressão da Figura 2, observou-se que os teores de Zn aumentaram nas posições de coleta Folhas apicais (FA) e Folhas dos ramos plagiotrópicos (FP) em função dos tempos após coleta, quando este nutriente foi aplicado no ápice até 48 horas após a pulverização, havendo queda nos teores de Zn em ambas as posições de coleta após este tempo. Comportamento contrário foi observado nas Folhas basais (FB). Observou-se nestas um aumento nos teores de Zn após as 48 horas da pulverização no ápice. Este comportamento sugere que quando o Zn é aplicado no ápice, há uma translocação deste nutriente para a base, ou seja, um transporte basípeto. Entretanto, quando o Zn foi aplicado na base, já não se observa translocação para o ápice. Folhas apicais e folhas dos ramos plagiotrópicos praticamente não variaram os teores de Zn após a aplicação deste nutriente na

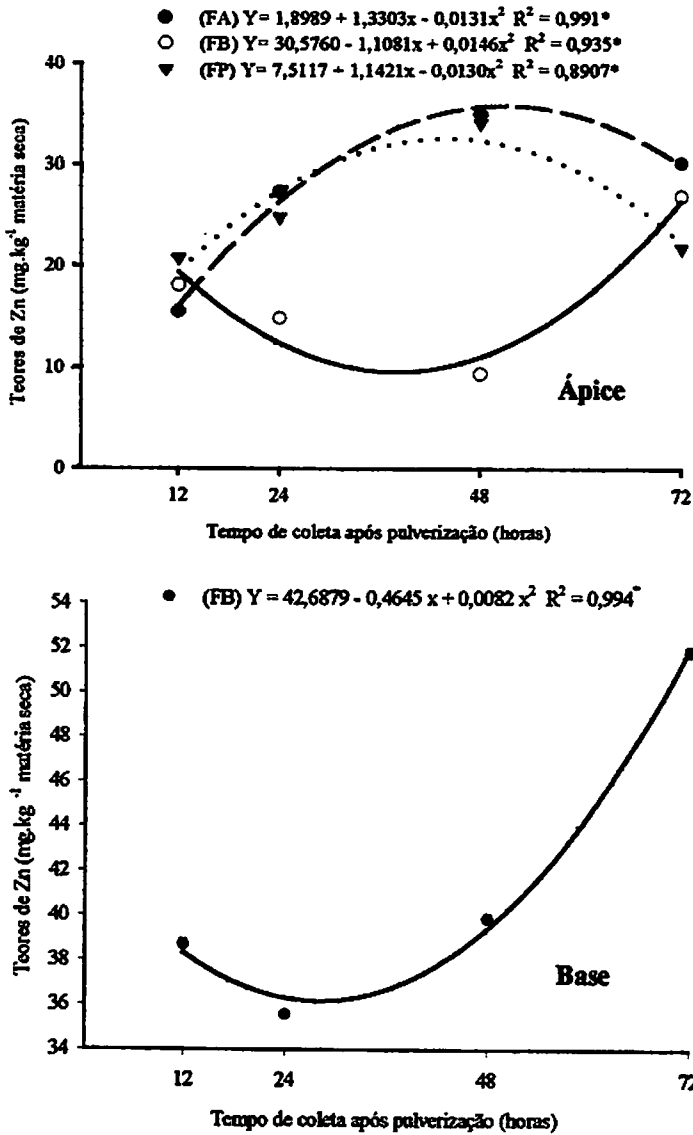


FIGURA 2. Teores médios de Zn total nas posições de coleta Folhas apicais (FA), Folhas dos ramos plagiotrópicos (FP) e Folhas basais (FB) em mudas de cafeeiro nas posições de aplicação apical ou basal, em função dos tempos de coleta após a pulverização. UFLA, Lavras, 2000.

* Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

base. Observou-se aumento nos teores de Zn nas folhas basais, sem posterior translocação para o ápice (Tabela 2 e Figura 2).

Quando o Zn foi aplicado na base, houve um aumento inicial bastante rápido na absorção pelas folhas basais em relação à testemunha (Tabela 2) com o tempo de coleta 12 horas (Figura 2), aumentando-se os teores médios de Zn de 10,87 mg.kg⁻¹ para 38,68 mg.kg⁻¹, respectivamente. Esse comportamento foi corroborado também por Cordeiro et al. (1990), que comentam que apenas três horas após a aplicação de Zn, 64 % deste nutriente já haviam sido absorvidos. Fávoro (1992), estudando a absorção do Zn em mudas de cafeeiro, também observou que, para todos os tratamentos, houve uma fase inicial de absorção bastante rápida, sendo que três horas após a aplicação de uma solução de sulfato de Zn a 0,6%, 57% dos teores máximos de Zn encontrados já haviam sido absorvidos. No presente experimento observou-se que 70% do teor máximo de Zn absorvido pelas folhas basais, quando aplicados na posição basal, foi absorvido em 24 horas após a sua aplicação, enquanto que se aplicados na posição apical, 75% e 80,5% foram absorvidos neste mesmo intervalo de tempo pelas folhas apicais e folhas dos ramos plagiotrópicos, respectivamente (Figura 2). Segundo Fávoro (1992), essa rápida absorção do Zn pelos cafeeiros tem grande importância prática no que diz respeito à ocorrência de chuvas após a pulverização de lavouras comerciais, pois com apenas 3 horas após a aplicação de Zn, as plantas já haviam absorvido cerca de 60% do seu potencial de absorção.

Nas Tabelas 1 e 2 são observados os teores de Zn em mudas de cafeeiros, em função dos tempos de absorção nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado na posição apical ou basal. Quando o Zn foi aplicado no ápice (Tabela 1), pôde-se notar que as folhas apicais, folhas basais e caule basal, após 72 horas da pulverização, não diferiram estatisticamente quanto aos teores de Zn. Observa-se que até o tempo de 48 horas após a pulverização do Zn,

TABELA 1. Teores médios de Zn (mg.kg^{-1} de matéria seca) em mudas de cafeeiro, em função dos tempos de absorção nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado no ápice. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempo (horas)	Posições de Coleta					
	FA ¹	FP ²	CA ³	FB ⁴	CB ⁵	R ⁶
Test.*	9,77b	19,79a	11,21b	10,87b	4,68c	12,11b
12	15,46b	20,74a	12,39b	18,08a	7,10c	2,05c
24	27,28a	24,81a	15,33b	14,82b	5,68c	16,92b
48	34,99a	34,09a	20,08b	9,35c	5,51c	11,03c
72	30,14a	21,75b	11,66c	26,86a	28,56a	10,62c

* Obs: A testemunha foi analisada separadamente pelo fato de não ter sido pulverizada e, conseqüentemente, não haver diferentes posições de aplicação.

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³CA – Caule apical; ⁴FB – Folhas basais; ⁵CB – Caule basal; ⁶R – Raízes.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).


TABELA 2. Teores médios de Zn (mg.kg^{-1} de matéria seca) em mudas de cafeeiro, em função dos tempos de absorção nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado na base. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempo (horas)	Posições de Coleta					
	FA ¹	FP ²	CA ³	FB ⁴	CB ⁵	R ⁶
Test.*	9,77b	19,79a	11,21b	10,87b	4,68c	12,11b
12	15,50d	13,68d	10,52d	38,68a	29,70b	19,86c
24	12,31c	15,08c	9,01c	35,57a	40,48a	26,74b
48	14,02b	11,35b	6,81c	39,84a	34,30a	15,66b
72	12,48b	15,50b	2,63c	51,79a	51,74a	13,14b

* Obs: A testemunha foi analisada separadamente pelo fato de não ter sido pulverizada e, conseqüentemente, não haver diferentes posições de aplicação.

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³CA – Caule apical; ⁴FB – Folhas basais; ⁵CB – Caule basal; ⁶R – Raízes.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).



as folhas e caule basais apresentavam menores teores deste nutriente, enquanto comportamento contrário era observado nas folhas dos ramos plagiotrópicos e folhas apicais. Esse comportamento, conforme discutido anteriormente através das equações de regressão, sugere uma mobilidade basípeta do Zn 72 horas após a sua aplicação, ou seja, uma translocação deste nutriente via floema. Esse comportamento é reforçado ao se analisarem os teores de Zn 72 horas após a pulverização na posição basal, em que folhas basais e caule da base apresentaram os maiores teores de Zn, não havendo diferenças nos teores entre estes órgãos (Tabela 2). Nota-se que até as 72 horas após a pulverização, praticamente não houve translocação do Zn para os demais órgãos da planta, quando este elemento foi aplicado na base. Corroborando esses resultados, embora com outra espécie, Franco (1997) observou que o Zn apresentou mobilidade no floema do feijoeiro sendo, nesse caso, retranslocado da parte aérea para o sistema radicular. Entretanto, em plantas de café estudadas por esse autor, ocorreu mínima mobilidade ou mesmo não houve mobilidade de Zn no floema. Também Fávoro (1992) observou baixíssima mobilidade do Zn em café. Segundo este autor, a menor mobilidade do Zn aplicado às folhas do café deve estar relacionada ao pequeno transporte desse nutriente no floema ou à forma como esse nutriente se encontra no tecido vegetal. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira, Grafts e Yamaguchi (1963), que ao estudarem a translocação de vários compostos em café, concluíram que o ⁶⁵Zn se move em menor proporção no café que em outras espécies de plantas.

Nota-se uma menor concentração do Zn nas raízes, e praticamente não se observa translocação do Zn para este órgão, quando aplicado no ápice; porém, observou-se translocação desse nutriente para as raízes quando aplicado na base, principalmente se observarmos até 24 horas após a coleta. Swietlik (1995) não observou translocação do Zn aplicado via foliar em direção às raízes.

Na testemunha, o caule da base foi o órgão que apresentou os menores teores de Zn, e as folhas dos ramos plagiotrópicos as que apresentaram maiores teores. Segundo Loneragan, Kirk e Webb (1987), em plantas com deficiência de Zn a mobilidade desse nutriente torna-se menor nos tecidos mais jovens. Esse comportamento é corroborado por Rodrigues et al. (1997), que observaram que as folhas superiores foram o principal dreno em plantas deficientes em Zn. Segundo os mesmos autores, as folhas inferiores apresentaram maiores concentrações de Zn em plantas nutridas adequadamente. Por outro lado, Franco (1997), em um experimento com cafeeiro, observou que o estado nutricional da planta não apresentou efeito significativo sobre a aquisição e transporte de Zn, havendo uma tendência de acúmulo de Zn na parte aérea quando este nutriente foi aplicado via foliar. Entretanto, de acordo com este autor, porém em um experimento com feijoeiro, houve um acúmulo preferencial do Zn nas folhas da porção superior de plantas deficientes, sendo que, naquelas plantas crescidas em solução nutritiva com Zn, as folhas da porção inferior passaram a apresentar maiores teores de Zn que as folhas da porção superior, sugerindo que em plantas crescidas em condição de deficiência de Zn, as folhas superiores ou em crescimento são drenos mais fortes para o nutriente, em função de uma demanda maior por Zn que as folhas da porção inferior. Longnecker e Robson (1993) corroboram essas observações, citando que tecidos em crescimento são drenos preferenciais de Zn em relação a tecidos maduros. Fávoro (1992) encontrou uma baixa mobilidade do Zn quando aplicado as folhas do cafeeiro, sugerindo que este elemento, quando absorvido por uma folha madura, não é redistribuído para outras partes da planta. No campo, este autor observou que os teores de Zn, aos três dias após a aplicação em folhas correspondentes ao terceiro par à época da pulverização, não se modificaram aos 30 e 60 dias nas mesmas condições, na planta. Este fato, aliado à observação de baixas concentrações de Zn nas folhas surgidas após as pulverizações, sugere uma baixa mobilidade do Zn quando aplicado às folhas do

cafeeiro. Para Rena, Cordeiro e Alves (1990), os teores de Zn foram sempre mais elevados no terceiro par em que ocorreu a pulverização, em relação ao segundo ou quarto pares não pulverizados. Além disso, os teores de Zn encontrados na testemunha não diferiram do segundo ou quarto pares. Também Thorne (1957) cita que o Zn, como o ferro e o cálcio, não é retranslocado de folhas mais velhas para as mais jovens durante o crescimento. Entretanto, Bataglia (1991) observou que quando em grande suprimento, muitas espécies de plantas têm translocado este nutriente das folhas velhas para órgãos em crescimento; porém, quando a mesma espécie está sob condições de deficiência, há uma menor translocação do nutriente de folhas velhas para drenos preferenciais.

Entretanto, esses resultados observados não corroboram os apresentados por Franco (1997), segundo o qual houve uma tendência de acúmulo de Zn nas folhas superiores do cafeeiro na maioria dos tratamentos. Rodrigues et al. (1997) também observaram que o Zn translocado no feijoeiro acumulava-se preferencialmente na parte aérea. Muller (1966) argumenta que ocorre translocação para o ápice quando um ramo deficiente for pulverizado, o que possibilita a correção de deficiências dos novos surtos de crescimento. Para Longnecker e Robson (1993), tecidos jovens tendem a acumular, preferencialmente, mais Zn que tecidos maduros, pois representam regiões metabolicamente mais ativas, com grande demanda de nutrientes. Segundo esses mesmos autores, o acúmulo de Zn nas folhas depende em grande parte do estado nutricional da planta. Em plantas deficientes em Zn, esses autores observaram maiores concentrações deste nutriente nos meristemas vegetativos que nas folhas mais velhas. No entanto, em condições nutricionalmente adequadas, observaram um maior acúmulo deste nutriente nas folhas velhas. Malavolta (1980) argumenta que espera-se que as folhas mais novas apresentem maior capacidade

de absorção, uma vez que possuem cutícula menos espessa e, portanto, mais permeável.

O caule da base acumulou altos teores de Zn, principalmente quando este nutriente foi aplicado na base (Tabelas 1 e 2). Também Franco (1997), em cafeeiro, e Pearson e Rengel (1994), em plantas de trigo, citam que o caule foi o órgão da planta que mais acumulou Zn. Ainda segundo Franco (1997), o acúmulo de Zn nesse órgão pode ser explicado pela grande afinidade do Zn^{++} do sulfato com as cargas livres existentes nos vasos condutores. Além disso, Pearson e Rengel (1994) consideram que o caule é um importante componente da rota de transporte nas plantas e que este acúmulo de Zn no caule sugere uma forma de reserva de Zn no vegetal, podendo ser remobilizado em condições de demanda deste micronutriente.

Do exposto, notou-se uma rápida absorção do Zn pelo cafeeiro, independente da posição de aplicação, e uma maior translocação deste nutriente quando aplicado no ápice para a região basal das mudas, contrapondo-se aos resultados de diversos autores.

Rodrigues et al. (1997), utilizando o mesmo método de análise para a quantificação dos teores de Zn no feijoeiro, observaram aspectos importantes. Esses autores argumentam que o método não permite avaliar se o Zn retido na região de aplicação foi efetivamente absorvido ou se ficou apenas adsorvido à cutícula, pois o Zn retido pode ser o resultado de uma absorção sem posterior translocação, como também uma simples adsorção do nutriente na cutícula da folha, uma vez que a lavagem por imersão não é suficiente para a retirada total do Zn adsorvido às cargas presentes na superfície das folhas. Franco (1997) também relata que a cutícula muitas vezes pode mascarar a real absorção. Este autor, ao aplicar sulfato de Zn via foliar em cafeeiro e feijoeiro, observou que este nutriente ficou adsorvido à cutícula das folhas de ambas as espécies, demonstrando ser a retenção cuticular uma importante barreira à absorção.

Franke (1967) cita que o processo de absorção foliar ocorre em três estádios: no primeiro ocorre a penetração através da cutícula e da parede celular, via difusão limitada ou livre; num segundo momento ocorre adsorção à superfície da membrana plasmática e, finalmente, a penetração no citoplasma, sendo este processo dependente de energia metabólica. Segundo Rodrigues et al. (1997), a resposta à aplicação de Zn por via foliar no feijoeiro depende dos processos de penetração do elemento através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais. Deste modo, a eficiência da aplicação foliar pode ser afetada por diversos fatores, entre eles: condições ambientais, características das folhas, particularmente da cutícula, natureza e forma química do elemento e, não menos importante, o estado iônico da planta. Tais observações devem ser também consideradas para uma melhor interpretação dos resultados.

4.2 Localização subcelular do zinco

Embora as plantas de cafeeiro possam apresentar uma eficiente absorção de Zn, não se pode afirmar que este nutriente esteja prontamente disponível ao metabolismo celular, ou seja, esteja presente no citoplasma e nas organelas subcelulares, onde o Zn pode exercer suas atividades fisiológicas essenciais (Fávaro, 1992), o que sugere a importância do fracionamento celular deste nutriente.

A análise de variância para os teores de Zn nas frações parede celular, cloroplasto e “solúvel”, mostrou que houve diferenças significativas ($P < 0,05$) nos teores desse nutriente nestas frações, e uma interação significativa em função dos tempos após aplicação x posições de coleta x posições de aplicação de Zn nos cafeeiros (Tabela 2 A do anexo). Houve aumento nos teores de Zn na fração parede celular nas três posições de coleta, em função dos tempos de

coleta após a pulverização deste nutriente no ápice (Figura 3). Notou-se um aumento nos teores de Zn nas folhas apicais (FA) até 72 horas após a aplicação de Zn. No entanto, nas folhas dos ramos plagiotrópicos (FP) observou-se aumento até 48 horas após a aplicação, com ligeira queda após este período. Já nas folhas basais (FB) observou-se um aumento nos teores de Zn a partir de 48 horas após a pulverização. Esses resultados confirmam o comportamento observado na análise de Zn total. A queda observada nas folhas dos ramos plagiotrópicos pode ser um indicativo de translocação do Zn das folhas dos ramos plagiotrópicos para as folhas basais, o que sugere a mobilidade basípeta do Zn. Observando-se o comportamento do Zn aplicado na base, notou-se que as folhas basais apresentaram uma absorção crescente deste nutriente e que praticamente não houve translocação deste nutriente para o ápice, o que pode ser observado pelos teores de Zn na posição de coleta folhas dos ramos plagiotrópicos (FP).

Até as 72 horas após a aplicação de Zn, não houve saturação no acúmulo de Zn na fração parede celular (Figura 3). Esse comportamento não é corroborado por Fávoro (1992), pois este autor notou um aumento inicial bastante rápido do Zn presente nas paredes celulares, em todos os tratamentos, com máximo em torno de 20 horas. Este autor comentou, ainda, que o acúmulo de Zn na fração parede celular pode ocorrer devido a um processo adsorptivo, sendo descrito como um provável mecanismo de prevenção celular contra altos teores deste metal. No entanto, o autor verificou teores de Zn bem mais elevados na fração parede celular que os observados no presente trabalho, o que pode explicar a não saturação deste nutriente nesta fração. Moore, citado por Mengel e Kirby (1987), observou que a curto prazo, 90 % do Zn total absorvido pelas raízes ficaram em sítios de troca ou adsorvidos às paredes celulares.

Pela Figura 4 e Tabelas 3 e 4, notam-se baixos teores de Zn na fração cloroplasto, quando comparados às demais frações. Fávoro (1992) cita que esse

comportamento pode indicar um possível mecanismo regulador do influxo exagerado do Zn nessa organela. Observou-se, também, que após a pulverização do Zn no ápice, houve aumento nos teores deste nutriente em todas as posições de coleta nessa fração. Entretanto, quando aplicado na base, observou-se um aumento de Zn nas folhas basais até 72 horas após a aplicação (Figura 4), sendo que folhas apicais e dos ramos plagiotrópicos não diferiram quanto ao teor de Zn nessa fração (Tabela 4).

Analisando-se os teores de Zn na fração solúvel (Figura 5), pode-se observar um aumento nos teores deste nutriente nessa fração nas diferentes posições de coleta, independente da posição de aplicação, o que leva a concluir que não houve saturação no acúmulo até 72 horas após a aplicação deste micronutriente. Essa observação sugere uma real absorção do Zn pelas células. Essas observações possibilitam inferir que o Zn pulverizado nas folhas não ficou aparentemente adsorvido na cutícula destas, sendo em grande parte absorvido pelas células, o que contradiz as observações discutidas anteriormente por Rodrigues et al. (1997), em feijoeiro.

Uma questão para a qual se deve dar atenção é que a fração solúvel é constituída de várias organelas subcelulares, como ribossomos, mitocôndrios, além do suco vacuolar. O vacúolo pode ser um importante agente para se evitar concentrações elevadas de cátions no citoplasma. Ernest e Weiner (1972) citam que em folhas de *Silene cuculatus*, 50 % da fração do Zn total encontravam-se nos vacúolos.

Pelas Tabelas 3 e 4, pode-se observar os teores de Zn nas frações subcelulares, em função dos tempos de absorção foliar nas diferentes posições de coleta e posições de aplicação. Independente das posições de aplicação, observou-se que até as 24 horas após a aplicação do Zn, os maiores teores deste nutriente se encontravam na parede celular e na fração solúvel, sendo que do tempo de 48 horas em diante, houve uma tendência de maiores teores na fração

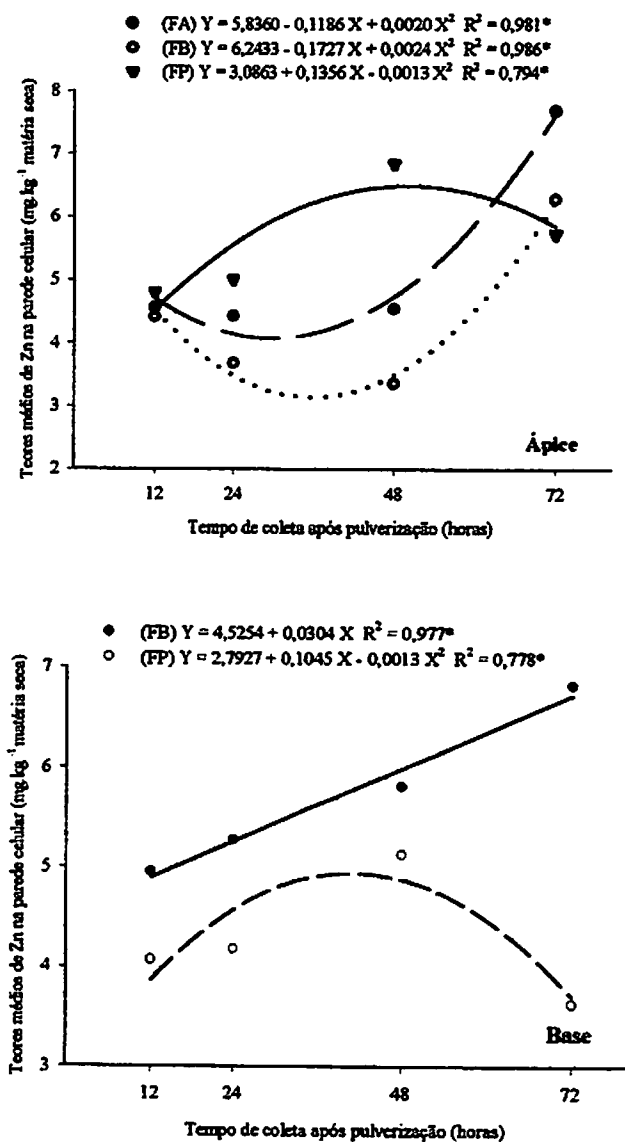


FIGURA 3. Teores médios de Zn na fração parede celular, nas diferentes posições de coleta, nas posições de aplicação apical ou basal, em função dos tempos de absorção foliar por mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, 2000.

*Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

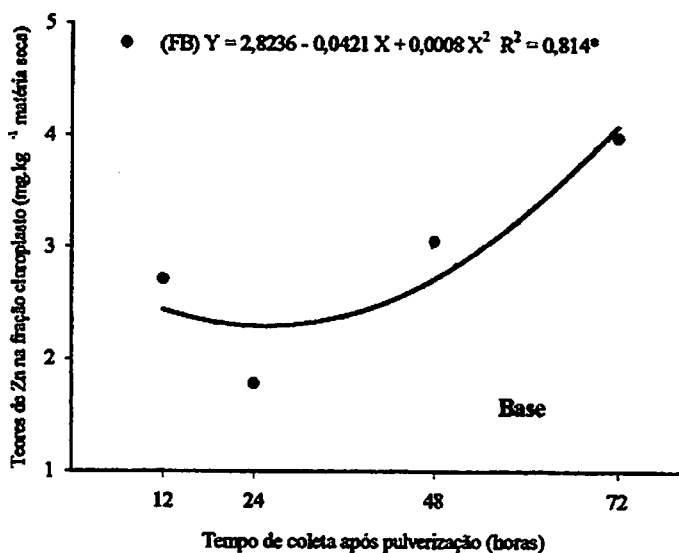
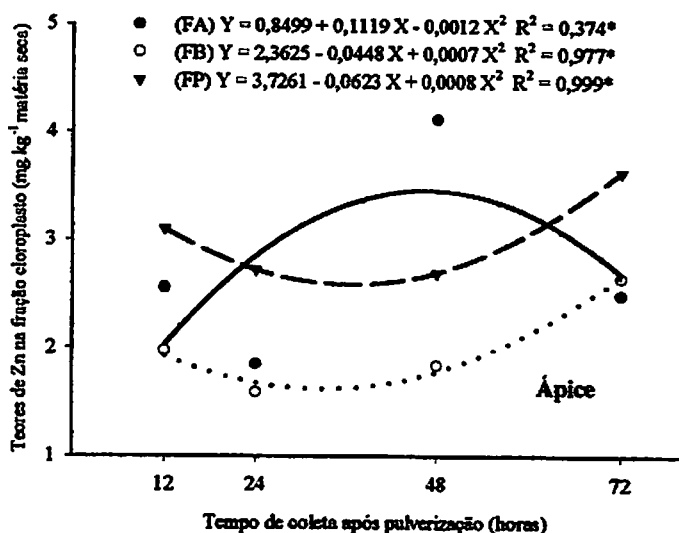


FIGURA 4. Teores médios de Zn na fração cloroplasto, nas diferentes posições de coleta, nas posições de aplicação apical ou basal, em função dos tempos de absorção foliar por mudas de caféiro. UFLA, Lavras, 2000.

*Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

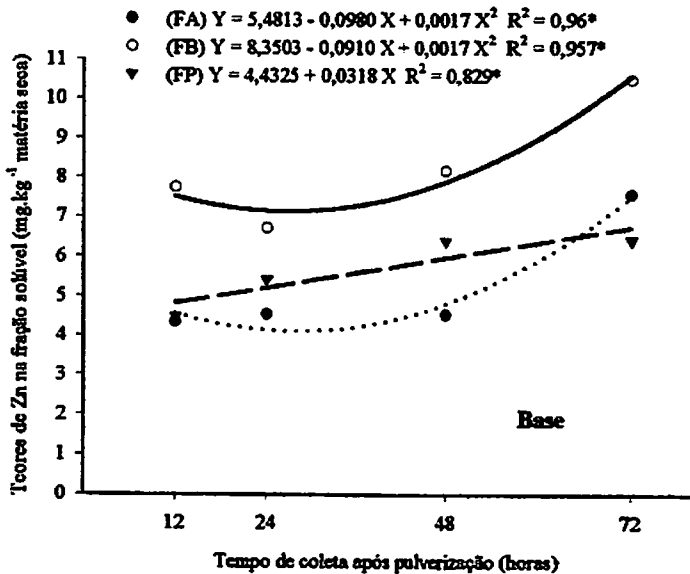
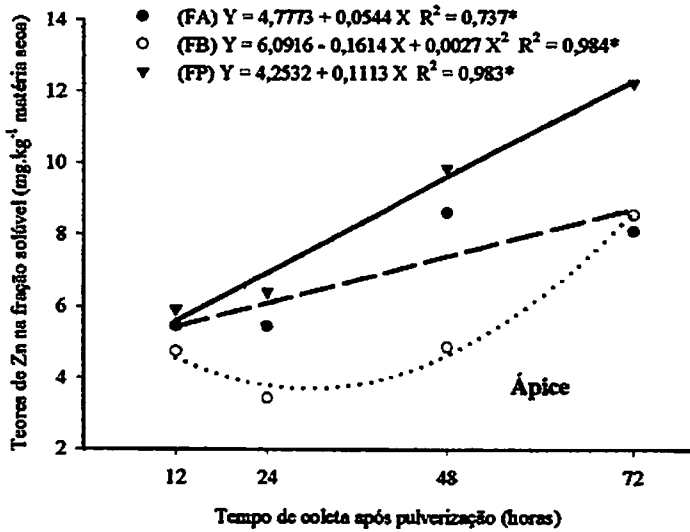


FIGURA 5. Teores médios de Zn na fração “solúvel”, nas diferentes posições de coleta, nas posições de aplicação basal ou apical, em função dos tempos de absorção foliar por mudas de cafeeiro. Lavras, UFLA, 2000.

* Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

TABELA 3. Teores médios de Zn (mg.kg^{-1} de matéria seca) nas frações subcelulares: parede celular, cloroplasto e “solúvel”, em função dos tempos de absorção foliar por mudas de cafeeiro, nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado no ápice. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempo (horas)	Parede celular			Cloroplasto			Solúvel		
	FA ¹	FP ²	FB ³	FA ¹	FP ²	FB ³	FA ¹	FP ²	FB ³
Test.*	3,58	4,25	3,37	1,54	1,67	1,30	2,69	4,00	3,00
12	4,56a	4,81a	4,41a	2,55a	3,10a	1,97b	5,45a	5,92a	4,74a
24	4,42a	5,02a	3,68a	1,85b	2,72a	1,59b	5,45a	6,39a	3,43b
48	4,55b	6,85a	3,35c	4,12a	2,69b	1,84c	8,60a	9,84a	4,87b
72	7,70a	5,75b	6,28b	2,49b	3,64a	2,65b	8,09b	12,47a	8,54b

* Obs: A testemunha foi analisada separadamente pelo fato de não ter sido pulverizada e, conseqüentemente, não haver diferentes posições de aplicação.

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais.

Médias seguidas pela mesma letra na linha dentro de cada fração não diferem entre si (Scott & Knot, 5%).

TABELA 4. Teores médios de Zn (mg.kg^{-1} de matéria seca) nas frações subcelulares: parede celular, cloroplasto e “solúvel”, em função do tempo de absorção foliar por mudas de cafeeiro, nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado na base. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempo (horas)	Parede celular			Cloroplasto			Solúvel		
	FA ¹	FP ²	FB ³	FA ¹	FP ²	FB ³	FA ¹	FP ²	FB ³
Test.*	3,58	4,25	3,37	1,54	1,67	1,30	2,69	4,00	3,00
12	4,01a	4,07a	4,95a	1,79b	2,04b	2,71a	4,34b	4,47b	7,73a
24	4,95a	4,18a	5,27a	1,59a	2,27a	1,78a	4,54b	5,41b	6,70a
48	2,81b	5,13a	5,81a	1,53b	1,73b	3,05a	4,53c	6,37b	8,16a
72	3,68b	3,63b	6,82a	1,97b	2,41b	3,98a	7,56b	6,42b	10,47a

* Obs: A testemunha foi analisada separadamente pelo fato de não ter sido pulverizada e, conseqüentemente, não haver diferentes posições de aplicação.

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais;

Médias seguidas pela mesma letra na linha dentro de cada fração não diferem entre si (Scott & Knott, 5%).

solúvel. Quando o Zn foi aplicado no ápice, até 24 horas após a aplicação não havia diferenças nos teores de Zn nas folhas apicais, folhas dos ramos plagiotrópicos e folhas basais, na fração parede celular. Já 72 horas após a aplicação, notaram-se maiores teores do nutriente nas folhas apicais nessa fração. Nessa mesma fração, notou-se que as folhas basais apresentaram, 72 horas após a pulverização, teores de Zn superiores aos demais tempos, o que pode indicar uma possível translocação desse nutriente via floema. Já para as frações cloroplasto e solúvel, os maiores teores foram encontrados nas folhas dos ramos plagiotrópicos 72 após a pulverização, entretanto, também observa-se aumento nos teores de Zn nas folhas apicais e folhas basais (Tabela 3).

É importante salientar que além do Zn ter sido absorvido, este nutriente também foi translocado quando aplicado tanto no ápice como na base. Embora os teores de Zn, quando aplicado na posição apical, sempre tenham sido maiores na porção superior da planta (folhas apicais e folhas dos ramos plagiotrópicos), notou-se que 72 horas após a aplicação do Zn, todas as frações subcelulares apresentaram um aumento substancial deste nutriente nas folhas basais, o que sugere a translocação deste nutriente do ápice para a base (Tabela 3). Esse comportamento também foi observado quando o Zn foi aplicado na base, ocasião em que foram notados aumentos nos teores de Zn na posição de coleta folhas apicais e folhas dos ramos plagiotrópicos na fração solúvel (Tabela 4). Pode-se deduzir, através da fração solúvel, que além do Zn ter sido absorvido, este nutriente também foi translocado basipeta e acropetamente. Quando o Zn foi aplicado na posição apical, além das folhas da região superior da planta aumentarem os teores deste nutriente, observou-se que as folhas da base também aumentaram os teores de Zn em função do tempo após coleta. Comportamento semelhante foi observado nas folhas da região superior na fração solúvel quando o Zn foi aplicado na base. Além das folhas basais aumentarem os teores de Zn, aquelas superiores também aumentaram.

Essas observações permitem sugerir que o teor total de Zn (obtido pela digestão nitroperclórica e utilizado em análises de rotina) parece não ser o melhor indicativo do “status” nutricional de Zn nas plantas, pois através dessa análise não se pode observar a localização subcelular do Zn na folha. Essa observação poderia explicar porque plantas que apresentam teores adequados de zinco (obtidos pela análise foliar) podem apresentar sintomas de deficiência deste micronutriente nas lavouras cafeeiras, pois o Zn pode estar tanto adsorvido à cutícula da folha como fora dos sítios de maior atividade metabólica da célula.

4.3 Aminoácidos e proteínas

4.3.1 Aminoácidos

A análise de variância para aminoácidos mostrou que houve diferenças significativas ($P < 0,05$) na concentração dessas substâncias após a aplicação do Zn. Houve interação significativa dos tempos após aplicação x posições de coleta x posições de aplicação de Zn no cafeeiro (Tabela 3 A do anexo).

De um modo geral, as maiores concentrações de aminoácidos foram observadas nas folhas da região superior das mudas de cafeeiro, independente da posição de pulverização do Zn (Figura 6 e Tabela 5). Este comportamento pode ser explicado pelo fato das folhas superiores serem mais novas, sendo, por isso, metabolicamente mais ativas que as folhas basais, contribuindo, assim, para uma maior concentração de aminoácidos nestes órgãos.

O acúmulo de aminoácidos livres em plantas deficientes em Zn foi verificado por Kitagishi e Obata (1986) e Marschner (1995). Esse comportamento não foi observado neste experimento. O que se pôde perceber foi que, de maneira geral, houve um aumento na concentração de aminoácidos 12 horas após a pulverização de Zn em relação à testemunha e uma queda nessa

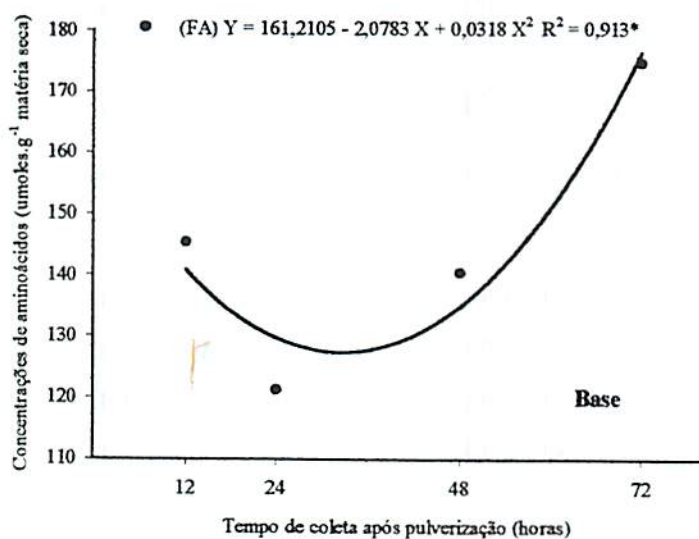
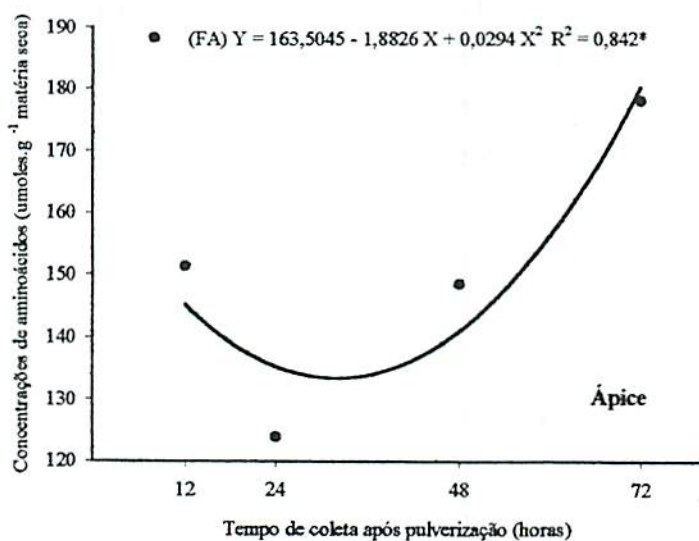


FIGURA 6. Concentrações médias de aminoácidos na posição de coleta folhas apicais (FA), nas posições de aplicação apical ou basal, em função dos tempos de coletas após a pulverização com Zn em mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, 2000.

* Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

TABELA 5. Concentrações médias de aminoácidos ($\mu\text{moles.g}^{-1}$ de matéria seca) em mudas de cafeeiro, em função dos tempos de absorção foliar de Zn nas diferentes posições de coleta, quando o Zn foi aplicado na posição basal ou apical. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempos (horas)	Apical			Basal		
	FA ¹	FP ²	FB ³	FA ¹	FP ²	FB ³
Test.*	129,63	139,05	102,72	129,63	139,05	102,72
12	151,26b	173,02a	136,91b	145,39b	174,83a	153,8b
24	123,77a	132,02a	98,08b	121,15b	154,27a	79,91c
48	148,46b	188,75a	111,85c	140,43b	160,19a	121,8b
72	177,93a	158,21a	106,36b	174,81a	172,25a	96,84b

* Obs.: Os dados de concentração de aminoácidos na testemunha estão em separado porque nesta não foi aplicado Zn; portanto, não há duas posições de aplicação.

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).

nessa concentração no tempo de coleta 24 horas, e após este intervalo de tempo, houve novamente aumento na concentração de aminoácidos (Tabela 5). Essa tendência também foi observada na concentração de proteínas, independente da posição de aplicação e posição de coleta (Figura 7 e 8 Tabelas 6 e 7).

4.3.2 Proteínas

A análise de variância para proteínas mostrou diferenças significativas ($P < 0,05$) nas concentrações dessas substâncias após a aplicação de Zn, sendo que houve interação significativa entre os tempos após aplicação desse nutriente

no cafeeiro x posições de coleta e entre a posições de aplicação x posições de coleta (Tabela 3 A do anexo).

Observando-se as concentrações de proteínas nas posições de aplicação basal ou apical (Figura 7) e nas diferentes posições de coleta (Figura 8), em função dos tempos de coleta, nota-se que há um aumento nas concentrações destas substâncias até 72 horas após a aplicação do Zn, ocasião em que são observadas as maiores concentrações de proteína, independente da posição de aplicação e posição coletada. Prask e Plocke (1971) argumentam que em plantas deficientes em Zn há uma redução do conteúdo ribossomal, com consequente redução da síntese proteica, gerando acúmulo de aminoácidos livres. Malavolta (1980) e Mengel e Kirby (1987) afirmam que o Zn está estreitamente envolvido no metabolismo nitrogenado e, conseqüentemente, na síntese protéica. Além dos autores anteriormente citados que corroboram a redução da síntese protéica em plantas deficientes em Zn, Ramaiah, Rao e Chokanna (1964) reforçam estas considerações ao observarem que os teores de proteínas formados em folhas de cafeeiros com deficiência em Zn foram menores que em folhas que receberam fornecimento adequado de Zn. No presente trabalho observou-se que as concentrações de proteínas em mudas de cafeeiro que não foram pulverizadas com Zn foram menores que em mudas que receberam pulverização, sendo nítidas essas diferenças 72 horas após as pulverizações, principalmente nas folhas da região superior da planta. Em média, os tratamentos apresentaram 2,71 g.kg⁻¹ de proteínas a mais do que a testemunha (Tabela 6 e 7).

O Zn está envolvido no metabolismo das proteínas (Malavolta, 1986), controlando a atividade da enzima RNase que hidrolisa o RNA, causando uma diminuição na síntese protéica, atuando na multiplicação celular, proporcionando menor número e tamanho de células e/ou reduzindo o comprimento de internódios. Marschner (1995) cita que há correlação inversa entre o fornecimento de Zn e a atividade da RNase e também entre a atividade

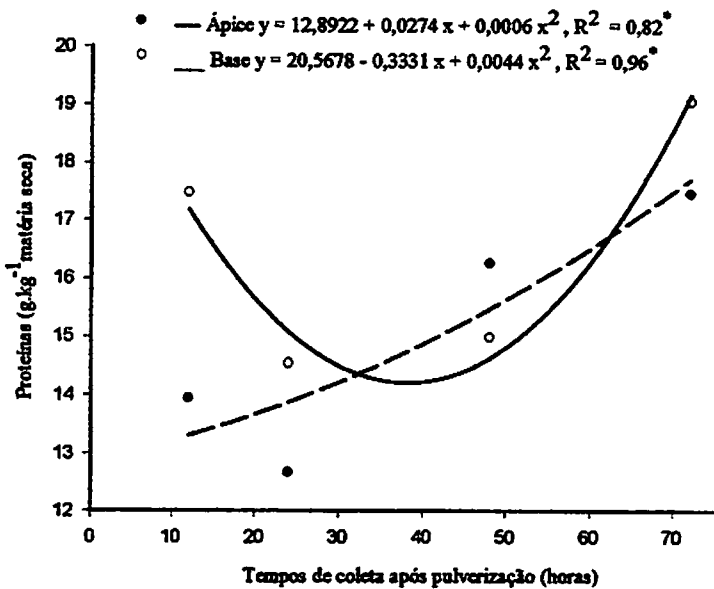


FIGURA 7. Concentrações médias de proteínas nas posições de aplicação basal ou apical, em função dos tempos de absorção foliar de Zn por mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, 2000.
 * Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

da RNase e o conteúdo de proteínas e o crescimento da planta, corroborando os resultados do presente trabalho.

É interessante notar que a concentração de proteínas foi superior quando o Zn foi aplicado nas folhas apicais e folhas dos ramos plagiotrópicos, ou seja, na região superior da planta (Tabela 6), e que 72 horas após a aplicação deste nutriente a maior concentração de proteínas foi observada nas folhas apicais (Tabela 7). A maior concentração de proteínas foi observada nas folhas apicais quando o Zn foi aplicado no ápice, enquanto quando este nutriente foi aplicado na base, não se observaram diferenças na concentração de proteínas nas diferentes posições coletadas (Tabela 6). Essa tendência de maior concentração de proteínas na região apical pode ser explicada por serem as folhas dessa região mais novas e, portanto, metabolicamente mais ativas que as folhas basais.

Longnecker e Robson (1993) relatam que tecidos jovens tendem a acumular, preferencialmente, mais Zn que tecidos maduros, pois representam regiões metabolicamente mais ativas, com grande demanda por nutrientes. Como o Zn é necessário para a síntese protéica, era de se esperar que a região apical apresentasse uma maior concentração de proteínas.

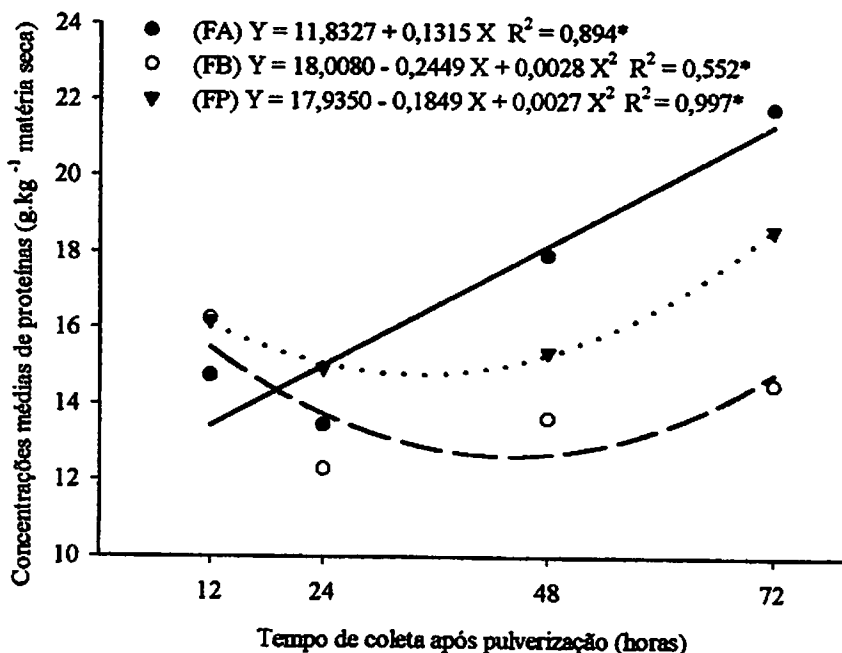


FIGURA 8. Concentrações médias de proteínas nas posições de coleta FA, FB e FP, em função dos tempos de absorção foliar de Zn por mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, 2000.

* Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

TABELA 6. Concentrações médias de proteínas (g.kg^{-1} de matéria seca) em função da aplicação de Zn em mudas de cafeeiro nas posições ápice ou base, nas diferentes posições de coleta. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Posição	Posições de coleta		
	FA ¹	FP ²	FB ³
Apical	17,33a	15,55b	12,40c
Basal	16,59a	16,97a	15,94a

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).

TABELA 7. Concentrações médias de proteínas (g.kg^{-1} de matéria seca) nas diferentes posições de coleta em função das aplicações de Zn em mudas de cafeeiro, nos diferentes tempos de absorção foliar. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempo (horas)	Posições de coleta		
	FA ¹	FP ²	FB ³
Testemunha*	13,50	11,86	13,90
12	14,73a	16,17a	16,24a
24	13,46a	14,93a	12,29a
48	17,90a	15,36b	13,63b
72	21,75a	18,58b	14,52c

* Obs: A testemunha foi analisada separadamente pelo fato de não ter sido pulverizada e, conseqüentemente, não haver diferentes posições de aplicação de Zn).

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).

4.4 Concentração de triptofano

Pela análise de variância observa-se que houve diferenças significativas ($P < 0,05$) nas concentrações médias de triptofano nas mudas de cafeeiro após a aplicação de Zn, e também houve interação significativa entre os tempos de coleta x posições de coleta e entre as posições de aplicação x posições de coleta (Tabela 3 A do anexo).

Ocorreu redução na concentração dos teores médios de triptofano até o tempo de 72 horas após a pulverização em relação aos tempos anteriores, independente da posição de aplicação (Figura 9) e da posição de coleta (Figura 10). Também Mohideen et al. (1994), em pesquisas realizadas com milho, tomate e arroz, em solução nutritiva na ausência e presença de Zn, observaram pequenas quantidades de triptofano livre em plantas cultivadas na presença de Zn; entretanto, a concentração deste aminoácido foi muito pequena quando comparada à concentração daquelas plantas crescidas em solução nutritiva sem Zn. Domingo et al. (1992), em um cultivo de rabanete, encontraram altas concentrações de triptofano em plantas com deficiência de Zn em relação às plantas controle. Ramaiah, Rao e Chokanna (1964) observaram acúmulo na maioria dos aminoácidos identificados em cafeeiros deficientes em Zn. Esses autores explicaram que a presença de maiores concentrações de triptofano em folhas deficientes em Zn, e menores concentrações em folhas normais, poderia ser explicada como um possível distúrbio causado no sistema catalítico na “conversão” do triptofano para ácido indolacético em plantas deficientes. Salami e Kenefick (1970), em um cultivo de milho em solução nutritiva, também observaram altos teores de triptofano em plantas Zn deficientes. Esses autores concluíram que o Zn é requerido no metabolismo do triptofano à auxina via triptamina, amina biogênica, formada a partir da descarboxilação do triptofano. Entretanto, esses resultados não estão de acordo com Tsui (1948), que afirma ser

o Zn essencial para a síntese do triptofano. Em um cultivo de tomateiro, nas plantas que apresentavam deficiência deste nutriente, o autor observou redução na elongação de ramos, uma baixa atividade de AIA e um baixo conteúdo de triptofano.

Pelas Tabelas 8 e 9, observa-se a concentração de triptofano nas diferentes posições coletadas. As folhas do ápice e as folhas basais apresentaram os maiores teores de triptofano, não se diferenciando entre si nos teores desse aminoácido (Tabela 8).

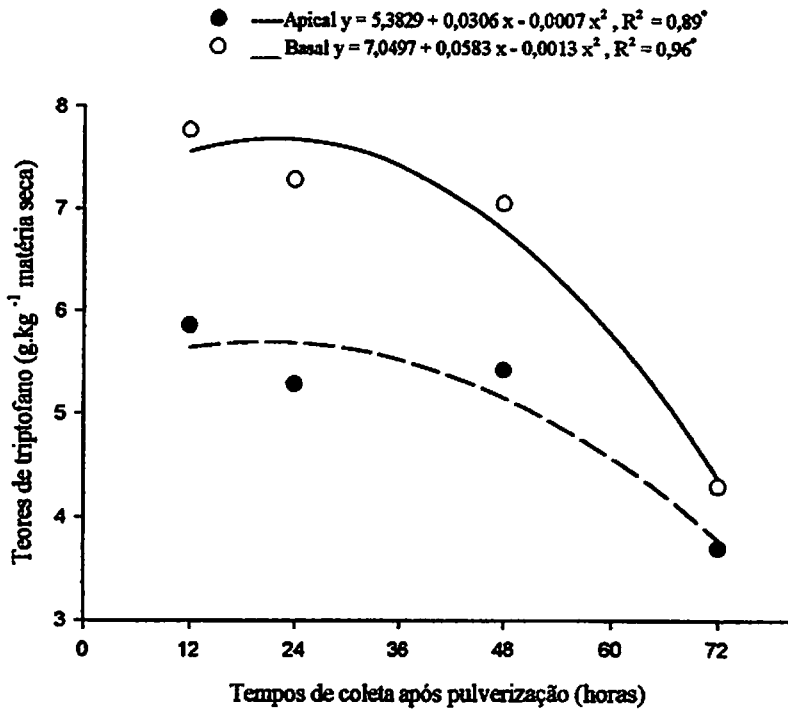


FIGURA 9. Concentrações médias de triptofano nas posições de aplicação, basal ou apical, em função dos tempos de absorção foliar de Zn por mudas de cafeeiro.

*Significativo ao nível de 5% pelo teste de F.

As folhas dos ramos plagiotrópicos foram as que apresentaram menores teores de triptofano, independente da posição de aplicação e do tempo de coleta. Novamente essa observação pode ser explicada pelo fato de serem estas folhas mais novas e, então, metabolicamente mais ativas que as demais, partindo-se do princípio de que a aplicação de Zn na planta provocaria uma redução no triptofano. Quando o Zn foi aplicado na posição apical, as folhas apicais e as folhas basais não se diferenciaram, entretanto, as maiores concentrações deste aminoácido foram observadas nas folhas apicais quando o Zn foi aplicado na base (Tabela 9).

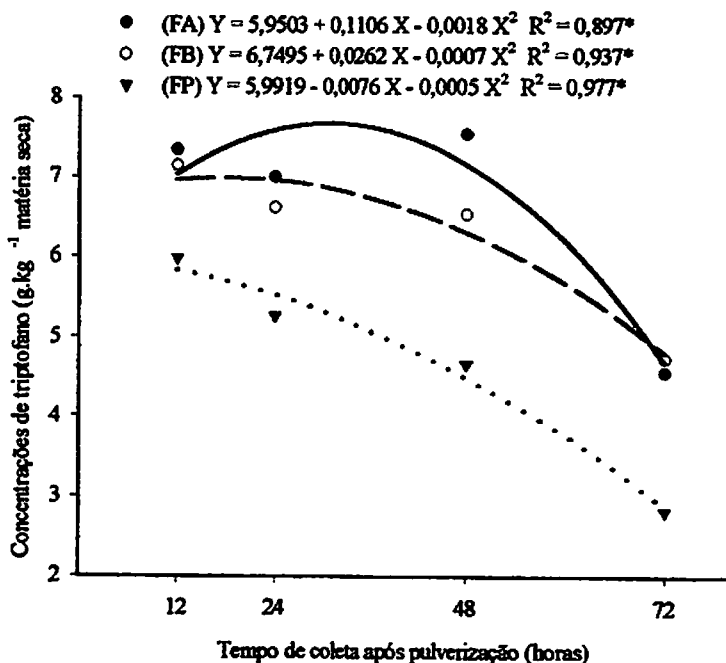


FIGURA 10. Concentrações médias de triptofano nas posições de coleta FA, FB e FP, em função dos tempos de absorção foliar de Zn por mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras, 2000.

* Significativo ao nível de 5 % pelo teste de F.

TABELA 8. Concentrações médias de triptofano (g.kg^{-1} de matéria seca) nas diferentes posições de coleta, em função da aplicação de Zn em mudas de cafeeiro nos diferentes tempos de absorção foliar. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Tempo (Horas)	Posições de coleta		
	FA ¹	FP ²	FB ³
12	7,33a	5,97b	7,14a
24	7,00a	5,26b	6,61a
48	7,54a	4,66c	6,53b
72	4,45a	2,82b	4,72a

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).

TABELA 9. Concentrações médias de triptofano (g.kg^{-1} de matéria seca) nas diferentes posições de coleta, em função das posições de aplicação de Zn em mudas de cafeeiro. Média de 4 repetições. UFLA 2000.

Posições de aplicação	Posições de coleta		
	FA ¹	FP ²	FB ³
Apical	5.42a	4.41b	5.37a
Basal	7.74a	4.94c	7.13b

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³FB – Folhas basais;.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Scott & Knott, 5 %).

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados, concluiu-se que:

1) Houve uma rápida absorção do Zn aplicado às mudas de cafeeiro, independente da posição de aplicação;

2) Analisando-se o teor de Zn total na planta, quando esse nutriente foi aplicado na posição basal, houve um maior acúmulo deste nutriente no caule basal e em folhas basais, o que sugere que pelo menos até 72 horas após a pulverização, houve pequena translocação para os demais órgãos da planta. Já quando foi aplicado na posição apical, observou-se translocação deste nutriente para a base, o que sugere um transporte basípeta de Zn, ou seja, via floema;

3) Analisando-se a localização subcelular de Zn no cafeeiro, observou-se aumento nos teores deste micronutriente na fração solúvel, independente da posição de aplicação, sugerindo uma real absorção sua pelas células. Além disso, observou-se mobilidade basípeta e acrópeta do Zn analisando-se os teores de Zn nesta fração, após o fracionamento celular, o que não foi observado ao serem analisados os teores de Zn total.

4) Observou-se aumento na concentração de aminoácidos totais e proteínas totais após a pulverização com Zn;

5) Observou-se redução na concentração de triptofano após a aplicação de Zn no cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARZOLLA, J.D.P.; HAAG, H.P.L.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro, VIII. Estudos da absorção e translocação do radiozinc no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Anais da ESALQ, Piracicaba, v.19, p.35-52, 1962.
- BAR-YOSEF, B. pH – dependent zinc adsorption by soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.43, n.6, p.1095-1099, nov./dec. 1979.
- BATAGLIA, O.C. Análise química da planta. In: FERREIRA E.; CRUZ, M.C.P. Micronutrientes na agricultura: Simpósio sobre micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1991. p.289-305.
- BLANCO, H.G. Estudos sobre absorção de zinco por folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Piracicaba: ESALQ/USP, 1970. 77p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BLANCO, H.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, D.A; SARRUGE, J.R. Absorção de zinco por tecido foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Arquivo do Instituto Biológico, São Paulo, v.39, p.1-12, jan./mar. 1972.
- BLANCO, H.G.; OLIVEIRA, D.A; HAAG, H.P. Absorção de zinco por folhas inteiras de cafeeiro (*Coffea arabica* L). 1- Técnica para emprego de soluções não radioativas. Arquivo do Instituto Biológico, São Paulo, v.38, p.181-189, jul./set. 1971.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, New York, v.72, p.248-254, 1976.

BRUNE, A.; URBACH, W.; DIETZ, K.J. Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance. **Plant, Cell and Environment**, Wurzburg, v.17, n.2, p.153-162, Feb. 1994.

CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D.; RENA, A.B.; ALVAREZ, V.V.H. Absorção foliar de Zn pelo cafeeiro na presença de cloreto de potássio e oxiclreto de cobre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, 1990, Espírito Santo do Pinhal. Resumos ... Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1990 p.34-35.

COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.79-87, jan./abr. 1992.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A. de C. Diagnose visual. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. (eds). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.273-308.

DOMINGO, A.; NAGATOMO, Y.; TAMAI, M.; TAKAKI, H. Free-tryptophan and indolacetic acid in zinc-deficient radish shoots. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.38, p. 261-267, 1992.

EPSTEIN, M. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: USP/Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

ERNEST, W.; WEINER, H. Localization of zinc in the leaves of *Silene cuculatus*. **Fertilizers Abstracts**, Alabama, v.5, n.7, p.1222, July 1972.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

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

- FRANCO, I.A.L. Translocação e compartimentalização de Zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas. Viçosa: UFV, 1997. 68p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. *Annual Review Plant Physiology*, Palo Alto, v.18, p.281-300, 1967.
- GARCIA, A.W.R.; SALGADO, A.R. Absorção foliar de nitrogênio e zinco pelo cafeeiro em função da luz e temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEERAS, 10, 1983, Poços de Caldas. Resumos...Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1983. p.2-4.
- GUIMARÃES, P.T.G.; CARVALHO, J.G.; MELLES, C.C.A.; MALAVOLTA, E. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de zinco na produção e composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v.40, n.1, p.497-507, 1983.
- HERNANDEZ, H.H. ; BATES, L.S. A modified method for rapid tryptophan analysis in maize. México City: CIMMYT, 1969. (Research Bulletin, 13).
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley: Califórnia Agricultural Experiment Station, 1950. 32p. (Circular 347).
- JYUNG, W.H.; EHMANN, A.; SCHLENDER, K.K.; SCALA, J. Zinc nutrition and starch metabolism in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology*, Rockville, v.55, n.2, p.414-420, Feb. 1975.
- KITAGISHI, K.; OBATA, H. Effects of zinc deficiency on the nitrogen metabolism of meristematic tissue of rice plants with reference to protein synthesis. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.32, p.397-405, 1986.
- KITAGISHI, K.; OBATA, H.; KONDO, T. Effect of zinc deficiency on 80s ribosome content of meristematic tissue of rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v.33, p.423-429, 1987.

- LINDSAY, W.L.** Inorganic phase equilibrium of micronutrientes in soil. In: **MORTEVEDT, J.J.** Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society America Journal, p.243-263, 1972.
- LONERAGAN, J.F.; KIRK, G.J.; WEBB, M.J.** Translocation and function of zinc in roots. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.10, n.9, p.1247-1254, 1987.
- LONGNECKER, N.E., ROBSON, A.D.** Distribution and transport of Zn in plants. In: **ROBSON A.D.** (ed.). *Zinc and soil and plants*. Kluwer Academic, 1993. p.79-91.
- LOPES, A. S.** Manual internacional de fertilidade do solo. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 117p.
- MALAVOLTA, E.** Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.** Os micronutrientes. IN: **MALAVOLTA, E.** Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Ceres, 1976. p.413-448.
- MALAVOLTA, E.** Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: **RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T.** *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.165-275.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E.; PAULINO, V.T.** Micronutrientes – uma visão geral. In: **FERREIRA, M.E. ; CRUZ, M.C.P. da.** (eds). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.243-272.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A.** Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 201p.
- MARSCHNER, H.** Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MELO, E. M. de.** Efeito da Aplicação foliar de sulfato de zinco na produção e na composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Lavras: UFLA, 1997. 66p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A.** Principles of plant nutrition, 4.ed. Berna: Internacional Potash Institute, 1987. 687p.
- MOHIDEEN, J. S.; HOSSAIN, B.; NAGATOMO, Y.; TAMAI, M.; TAKAKI, H.** Effect of zinc deficiency on the concentration of free tryptophan at different growth stages in higher plants. Bulletin of the Faculty of Agriculture Miyazaki University, Miyazaki, v.41, n.1, p.1-9, Oct 1994.
- MULLER, L.E.** Coffee nutrition. In: CHILDERS, N.F. (ed.). Temperate to tropical fruit nutrition. The State University, New Brunswick: Horticultural Publication. 1966. p.685-776.
- MUNIZ, L.L.F.** Absorção de zinco em solos do vale do aço mineiro, afetada pela remoção da matéria orgânica, óxido de ferro e óxido de manganês. Viçosa: UFV, 81p. 1995. (Dissertação – Mestrado em Química).
- OBATA, H.; UMEBAYASHI, M.** Effect of zinc deficiency on protein synthesis in cultured tobacco plant cells. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, v.34, p.351-357, 1988.
- OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.** Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo

influenciado por textura, ion acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.23, n.3, p.609-615, jul./set. 1999.

ORTEGA, E.I.; BATES, L.S. Biochemical and agronomic studies of two modified hard-endosperm opaque-2 maize (*Zea mays*) populations. **Cereal Chemistry**, St Paul, v.60, n.2, p.107-111, mar./apr. 1983.

PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, London, v.46, n.288, p.1829-1835, july 1994.

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

PEASLEE, D.E.; ISARANGKURA, R.; LEGGETT, J.E. Accumulation and translocation of zinc by two corns cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, n.4, p.729-732, july/aug. 1981.

PEREIRA, J.E.; GRAFTS, A.S.; YAMAGUCHI, S. Translocation in coffee plants. **Turrialba**, San Jose, v.13, n.2, p.64-79, abr./jun. 1963.

PRASK, J.A.; PLOCKE, D.J. A Role for Zinc in the structural integrity of the cytoplasmic ribosomes of *Euglena gracilis*. **Plant Physiology**, Rockville, v.48, n.2, p.150-155, aug. 1971.

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

RAMANI, P.K.; KANNAN, S. Studies on translocation of zinc in bean plants: evidence for retranslocation during new growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.121, p.313-318, 1985.

RENA, A.B.; CORDEIRO, A.T.; ALVES, J.D. Absorção foliar de zinco pelo cafeeiro na presença de uréia e cloreto de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, 1990, Espírito Santo do Pinhal. Resumos... Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1990. p.40.

RODRIGUES, L.A.; SOUZA, A.P. de; 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*, Brasília, v.9, n.2, p.111-115, ago. 1997. (*)

SALAMI, A.U.; KENEFICK, D.G. Stimulation of growth in zinc-deficient corn seedlings by the addition of tryptophan. *Crop Science*, Madison, vol.10, n.3, p. 291-294. May-june 1970.

SANTA MARIA, G.E. Bidirectional Zn-fluxes and compartmentation in wheat seedling roots. *Journal of Plant Physiology*, New York, v.132, p.312-325, 1988.

SANTINATO, R.; CAMARGO, R.P. Eficiência e doses do produto comercial ager-zinco no suprimento de zinco ao cafeeiro, comparativamente ao sulfato de zinco isolado e associado ao cloreto de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15, 1989, Maringá. Resumos... Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1989. p.195-198.

SHUMAM, L.M. Zinc, manganese, and cooper in soil fractions. *Soil Science*, Baltimore, v.127, n.1, p.10-17, jan. 1979.

SILVA, J.B.S. da. Influência de doses de sulfato de zinco aplicados via foliar, sobre a produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Lavras: ESAL, 1979. 62p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

SIQUEIRA, M. de O. Adsorção de zinco por solos com remoção da matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio. Viçosa: UFV, 1998. 81p. (Dissertação - Mestrado em Agroquímica).

- SOUZA, C.A.S. Aplicação de zinco via solo em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em casa de vegetação. Lavras: UFLA, 1999. 159p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- SKOOG, F. Relationship between zinc and auxin in growth of higher plants. *American Journal of Botany*, Columbus, v.27, n.10, p.239-251, Oct. 1940.
- SWIETLIK, D. Interaction between zinc deficiency and boron toxicity on growth and mineral nutrition of sour orange seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.18, n.6, p.1191-1207, 1995.
- TAKAKI, H.; KUSHIZAKI, M. Accumulation of free tryptophan and tryptamine in zinc deficient plants. *Plant Cell Physiology*, Kyoto, v.11, p.793-804, 1970.
- THORNE, W. Zinc deficiency and its control. *Advances in Agronomy*, New York, v.9, p.31-65, 1957.
- TSUI, C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. *American Journal of Botany*, Columbus, v.35, p.172-180, mar.1948.
- VÁLIO, I.F.M. Auxinas. In: FERRI, M. G. *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: EPU, 1979. v.2, p.39-72.
- YAMADA, Y.; WITTEWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. Penetration of ion through isolated cuticles. *Plant Physiology*, Rockville, v.39, n.1, p.28-32, jan. 1964.
- YAMADA, Y.; WITTEWER, S.H.; BUKOVAC, M.J. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to C¹⁴ urea. *Plant Physiology*, Rockville, v.40, n.1, p.170-175, jan. 1965.
- YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino acid with ninhydrin. *Analyst*, London, v.80, p.209-213, 1955.

ANEXOS

Anexo A	Página
Tabela 1 A Resumo das análises de variância para teor de zinco total em mudas de cafeeiro, em função dos tempos de absorção nas diferentes posições de coleta quando o zinco foi aplicado na posição apical ou basal. UFLA, Lavras, MG, 2000.....	55
Tabela 2 A Resumo das análises de variância para teor de zinco nas frações subcelulares: parede celular, cloroplasto e “solúvel” em função dos tempos de absorção foliar por mudas de cafeeiro, nas diferentes posições de coleta quando o zinco foi aplicado na posição basal ou apical. UFLA, Lavras, MG, 2000.....	56
Tabela 3 A Resumo das análises de variância para concentração de proteínas totais, aminoácidos totais e triptofano em função dos tempos de absorção foliar por mudas de cafeeiro, nas diferentes posições de coleta quando o zinco foi aplicado na posição basal ou apical. UFLA, Lavras, MG, 2000.....	57

TABELA 1 A. Resumo das análises de variância para teores de zinco total em mudas de caféiro, em função dos tempos de absorção nas diferentes posições de coleta quando o zinco foi aplicado na posição apical ou basal UFLA, Lavras, MG, 2000.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio
Tratamento	8	488.68000*
Testemunha vs fatorial	1	1589.25212*
Tempo	3	299.91624*
Posição de aplicação	1	1029.49909*
Tempo x Posição de aplicação	3	130.31335*
Erro (a)	27	13.77374
Posição de coleta	5	1236.933*
Tratamento x Posição de coleta	40	496.4556*
Posição de aplicação x Posição de coleta	5	2637.3000*
Tempo x Posição de coleta	15	259.0524*
Posição de aplicação x Posição de coleta x Tempo	15	81.35745*
Entre posições de coleta dentro da testemunha	5	313.1145*
Erro (b)	135	16.5266
Total	215	
Média Geral:		19.07685
R² :		0.931468
CV 1 :		19.45%
CV 2 :		21.31%

(ns) não significativo e (*) significativo a 5 % pelo teste de F.

TABELA 2 A. Resumo das análises de variância para teores de zinco nas frações subcelulares: parede celular, cloroplasto e “solúvel” em função dos tempos de absorção foliar por mudas de cafeeiro, nas diferentes posições de coleta quando o zinco foi aplicado na posição basal ou apical. UFLA, Lavras, MG,2000.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Parede Celular	Cloroplasto	Solúvel
Tratamento	8	7.13697*	2.979278*	44.39348*
Testemunha vs fatorial	1	13.54951*	9.41372*	127.4032*
Tempo	3	6.82135*	3.24284*	67.14176*
Posição de aplicação	1	6.16112*	3.12084*	7.82232*
Tempo x Posição de aplicação	3	5.64037*	0.52372ns	6.16571*
Erro (a)	27	0.62643	0.211505	0.86359
Posição de coleta	2	1.90035*	0.90768*	10.9971*
Tratamento x Posição de coleta	16	5.40285*	2.174641*	12.36048*
Posição de aplicação x Posição de coleta	2	19.16033*	9.08347*	74.24113*
Tempo x Posição de coleta	6	5.397878*	1.451983*	3.247317*
Posição de aplicação x Posição de coleta x Tempo	6	2.295112*	1.239167*	4.827688*
Entre posições de coleta dentro da testemunha	2	0.983525ns	0.24021ns	0.41767ns
Erro (b)	54	0.55044	0.221856	1.23082
Total	107			
Média Geral:		4.737029	2,316066	6.29466
R ² :		0.846768	0,846672	0.900007
CV 1 :		16.71%	19,86%	14.76%
CV 2 :		15,66%	20,34%	17,62%

(ns) não significativo e (*) significativo a 5 % pelo teste F.

TABELA 3 A. Resumo das análises de variância para concentrações de proteínas totais, aminoácidos totais e triptofano em mudas de cafeeiro em função dos tempos de absorção foliar, nas diferentes posições de coleta, quando o zinco foi aplicado nas posições ápice ou base. UFLA, Lavras, MG, 2000.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio		
		Proteínas	Aminoácidos	Triptofano
Tratamento	8	58.45314*	2987.974*	22.44243*
Testemunha vs fatorial	1	78.32708*	3366.331*	2.89954*
Tempo	3	89.76788*	6661.952*	37.59326*
Posição de aplicação	1	47.63963*	32.21679ns	56.50601*
Tempo x Posição de aplicação	3	24.11826*	173.1287ns	2.45136*
Erro (a)	27	3.45806	311.1633	0.33735
Posição de coleta	2	55.42823*	23304.26*	33.77324*
Tratamento x Posição de coleta	16	23.03219*	1045.486*	1.65395*
Posição de aplicação x Posição de coleta	2	36.77528*	114.0173ns	6.7271*
Tempo x Posição de coleta	6	31.53149*	1965.53*	1.1581*
Posição de aplicação x Posição de coleta x Tempo	6	12.07367ns	716.4288*	0.30622ns
Entre posições de coleta dentro da testemunha	2	16.66676ns	203.995ns	2.11151*
Erro (b)	54	5.47363	265.9546	0.18442
Total	107			
Média Geral:		15,49737	139,537	5,780317
R ² :		0,778751	0,869444	0,965967
CV 1 :		12,00%	12,64%	10,05%
CV 2 :		15,10%	11,69%	7,43%

(ns) não significativo e (*) significativo a 5 % pelo teste de F.

