

ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE ZINCO APLICADO VIA FOLIAR EM MUDAS DE CAFEIRO¹

Marcelo Ribeiro Malta²
Antônio Eduardo Furtini Neto³
José Donizeti Alves⁴
Paulo Tácito G. Guimarães⁵

RESUMO

O objetivo deste experimento foi avaliar a absorção e a translocação de Zn em cafeeiro. As mudas foram cultivadas em solução nutritiva sem Zn durante o 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, segundo a posição de aplicação (basal: seis pares de folhas inferiores ou apical: seis pares de folhas superiores, além dos ramos plagiotrópicos). As plantas foram coletadas 12, 24, 48 ou 72 horas após aplicação de $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$. No caule, raízes e folhas, foi determinado o conteúdo total de Zn. Pelos resultados, observou-se que, praticamente não houve translocação do Zn quando aplicado na posição basal. Já na posição apical, observou-se o seu transporte para a base, sugerindo um transporte basípeto, ou seja, via floema.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, micronutriente, mobilidade.

¹ Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Lavras para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

² Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Caixa Postal 176, 37200-000 – Lavras, MG, Brasil. Email: mrmalta@epamig.ufla.br.

³ Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, 37200-000 – Lavras, MG, Brasil.

⁴ Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, 37200-000 – Lavras, MG, Brasil. Email: jdalves@ufla.br.

⁵ Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Caixa Postal 176, 37200-000 – Lavras, MG, Brasil. Email: paulotgg@ufla.br.

ABSTRACT

UPTAKE AND TRANSLOCATION OF ZINC APPLIED ON LEAVES OF COFFEE SEEDLINGS

An experiment was conducted aiming to evaluate uptake and translocation of zinc in coffee trees. The seedlings were grown in nutrient solution without zinc for a four month period. After that, the treatments were applied. The plants were sprayed with 0.6% zinc sulphate in the amount of 15 mL of solution sprayed according to the position of application (basal: 6 pairs of lower leaves or apical; 6 pairs of upper leaves, in addition to the plagiotropic branches). Plant collecting times were: 12, 24, 48 or 72 hours after application of $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$. The total contents of Zn were determined in the stems, roots and leaves. Total zinc analysis showed that practically no translocation of zinc occurred when it was applied at the basal position. However, when it was applied at the apical position, its transport was observed to occur towards the basis, suggesting a basipetal transport, i.e., by floem.

Key words: *Coffea arabica*, micronutrient, mobility.

INTRODUÇÃO

Todas as deficiências nutricionais interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas, mas a deficiência de zinco (Zn) é tão acentuada que termos como “folha pequena” e “formação de roseta” têm constantemente sido aplicados a essa condição. A “formação de roseta” é decorrente da falta de alongamento 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 (3).

Vários são os fatores que interferem na absorção radicular do Zn, dificultando o seu fornecimento via solo. Cátions em elevadas concentrações inibem competitivamente a absorção de Zn, e as adubações elevadas com fósforo podem induzir a sua deficiência. Um dos principais fatores responsáveis pela redução da disponibilidade desse micronutriente para as plantas é a sua adsorção pelo solo (1, 21), que é influenciada pelo teor de matéria orgânica (2, 22), teores de óxido de ferro, alumínio e manganês (2, 14), pH do solo (2, 7, 15, 22) e CTC (2, 22).

Devido às limitações da adubação com Zn via solo, principalmente em solos de textura argilosa e intemperizados, onde a sua absorção pelas raízes é prejudicada pela forte ação adsortiva das argilas sobre o Zn, tem-se sugerido alternativamente o seu fornecimento via foliar (4, 13, 19). Entretanto, vários aspectos ainda não estão claramente entendidos nessa forma de aplicação, sendo o transporte do Zn um processo ainda muito discutido (19). Observou-se rápida mobilidade deste nutriente utilizando-se Zn marcado em trigo (20); entretanto, outros autores citam baixa mobilidade, classificando este nutriente como parcialmente móvel ou

pouco móvel, contribuindo, conseqüentemente, para o aparecimento de sintomas de deficiência nos órgãos mais novos (10, 11, 17).

Não só a aplicação do Zn via solo apresenta limitações, como as respostas à aplicação via foliar dependem de processos de penetração do nutriente através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais (19).

Não se verifica concordância na literatura quanto à mobilidade do Zn na planta, sendo de fundamental importância estudar a dinâmica deste nutriente para o adequado crescimento e desenvolvimento do cafeeiro. Este trabalho teve como objetivo estudar a absorção e a translocação do Zn em plantas no cafeeiro após a sua aplicação via foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), de julho a novembro de 1999. O delineamento experimental consistiu de dois extratos. No primeiro, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em um fatorial 4 x 2, sendo o primeiro fator quatro tempos de coleta após a aplicação foliar de Zn (12, 24, 48 e 72 horas) e o segundo, duas posições de aplicação de Zn (ápice ou base). No segundo extrato, cada parcela foi avaliada em seis posições fixas (Figura 1), caracterizando-se um delineamento amostral no delineamento experimental em faixas. Utilizaram-se quatro repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso com capacidade de 3 dm³, contendo duas plantas.

Utilizaram-se mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Acaiá do Cerrado MG 1474, com seis meses de idade, no início do experimento. Antes de serem transplantadas para os vasos, foram para a casa de vegetação, a fim de se aclimatarem. Após duas semanas, foram retiradas dos sacos plásticos, selecionadas e, depois de 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 de Hoagland e Arnon (6). 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 da adição de água deionizada.

As mudas inicialmente foram tratadas com solução nutritiva (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 1/2 de força durante mais 15 dias. Finalmente, foi fornecida a solução nutritiva (menos Zn) sem nenhuma diluição até a época de coleta do experimento.

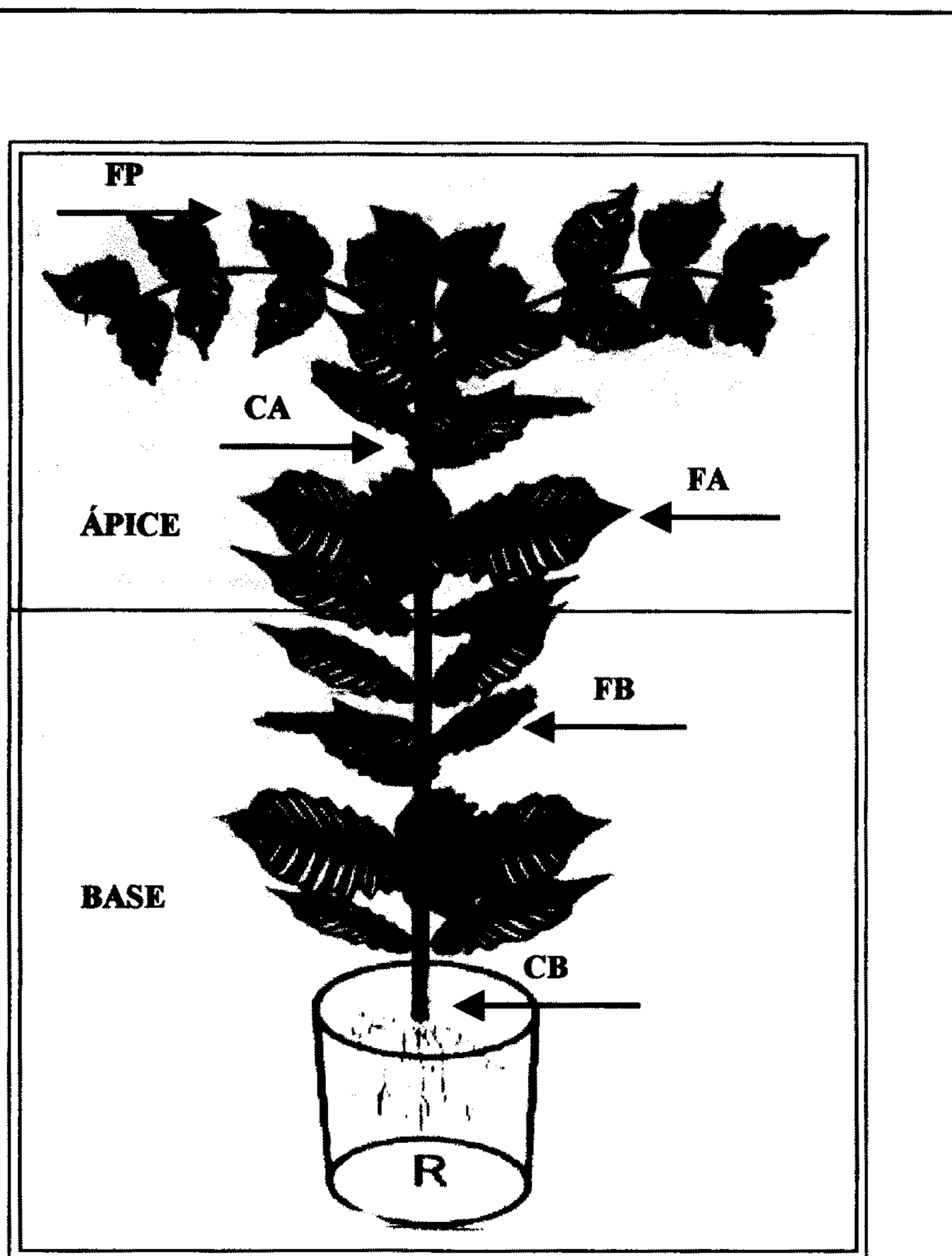


FIGURA 1 - Representação esquemática da divisão das mudas de café na coleta: FA – folhas da região apical; FB – folhas da região basal; FP – folhas dos ramos plagiotrópicos; CA – caule do ápice; CB – caule da base; e R – raiz.

Quatro meses após o início do cultivo foram aplicados os tratamentos. As plantas foram pulverizadas com Zn a 0,6% mais espalhante adesivo Agril a 0,03% com 15 mL de calda por planta nas superfícies adaxial e abaxial das folhas, segundo a posição de aplicação na planta (basal : seis pares de folhas inferiores; ou apical: seis pares de folhas superiores, além dos ramos plagiotrópicos), conforme demonstrado na Figura 1.

Durante a pulverização, as regiões das plantas que não recebiam a aplicação de Zn foram protegidas com anteparos plásticos para evitar contaminações. As plantas foram coletadas 12, 24, 48 ou 72 horas após aplicação de $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$. 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.

Foi determinado o conteúdo de Zn ($\mu g\ kg^{-1}$) no caule, raízes e folhas. As amostras foram secas em estufa dotada de circulação forçada à temperatura de 70-75 °C, até peso constante. Após a secagem, foram trituradas em moinho com peneira de 20 mesh e submetidas à digestão nitroperclórica, em cujo extrato foi quantificado o Zn por espectrofotometria de absorção atômica (12), calculando-se o conteúdo de Zn em todas as partes.

Os dados foram submetidos à análise de variância, usando-se o programa estatístico SISVAR. Foram realizados estudos de regressão polinomial, cujas equações (linear, quadrática) foram ajustadas ao conteúdo de Zn em cada posição de coleta das folhas em função dos tempos de coleta após a aplicação foliar de Zn, escolhendo-se a de maior coeficiente de determinação (R^2), significância dos coeficientes de regressão até 5% de probabilidade e significado biológico do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa das variáveis posições de aplicação x posições coletadas x tempos de coletas após aplicação de $ZnSO_4$ nas mudas de cafeeiro (Quadros 1 e 2 e Figura 2). O tempo para se atingir a quantidade máxima absorvida de Zn foi menor nas folhas da região superior das mudas de cafeeiros quando o produto foi aplicado no ápice (50 e 44 horas nas folhas do ápice e folhas dos ramos plagiotrópicos, respectivamente), comparativamente à quantidade máxima absorvida pelas folhas basais quando ele foi aplicado na base (Figura 2). Em pesquisas realizadas também em mudas de cafeeiro, Favaro (4) observou que o tempo para atingir a quantidade máxima absorvida de Zn aplicado em folhas coletadas do terceiro par foi semelhante ao aqui observado, ou seja, 49,3 horas.

O conteúdo de Zn aumentou nas posições de coleta FA (folhas apicais) e FP (folhas dos ramos plagiotrópicos) em função dos tempos após coleta, quando este nutriente foi aplicado no ápice até aproximadamente 48 horas após a pulverização, havendo queda no conteúdo de Zn em ambas as posições de coleta após este tempo (Figura 2). Comportamento contrário foi observado nas folhas basais (FB), com aumento no conteúdo de Zn 72 horas após a pulverização no ápice. Este comportamento sugere que quando o Zn é aplicado no ápice há translocação deste nutriente para a base, ou seja, um transporte basípeto. Entretanto, quando aplicado na base, já não se observa tendência de translocação para o ápice. As folhas apicais e as folhas dos ramos plagiotrópicos praticamente não apresentaram variação no conteúdo de Zn. Observou-se aumento deste nas folhas basais, sem posterior translocação para o ápice (Quadro 2 e Figura 2).

QUADRO 1 – Conteúdo de Zn (μg) de diferentes partes de mudas de cafeeiro, em função dos tempos após aplicação foliar de solução de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado no ápice

Tempo (horas)	Posições de coleta					
	FA ¹	FP ²	CA ³	FB ⁴	CB ⁵	R ⁶
12	38,61b	55,42a	40,06b	32,97b	52,08a	9,28c
24	92,68a	79,90a	33,76b	33,30b	37,33b	85,21a
48	124,95a	76,12b	59,20c	17,89d	45,63c	45,79c
72	97,60b	65,65c	33,09e	79,90c	251,60a	51,95d
CV(%)	16,19					

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³CA – Caule apical; ⁴FB – Folhas basais; ⁵CB – Caule basal; ⁶R – Raízes.
Médias seguidas pela mesma letra enquadram-se no mesmo agrupamento, de acordo com o teste de Scott-Knott a 5%.

QUADRO 2 – Conteúdo de Zn (μg) de diferentes partes de mudas de cafeeiro, em função dos tempos após aplicação foliar de solução de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, nas diferentes posições de coleta quando o Zn foi aplicado na base

Tempo (horas)	Posições de coleta					
	FA ¹	FP ²	CA ³	FB ⁴	CB ⁵	R ⁶
12	51,73c	37,28d	28,97d	87,14b	178,19a	80,80b
24	35,42d	19,76d	25,40d	91,73c	195,11a	116,40b
48	45,70d	53,22d	21,48e	117,40b	256,11a	83,69c
72	39,21d	44,61d	9,39e	137,37b	385,44a	62,25c
CV(%)	16,19					

¹FA – Folhas apicais; ²FP – Folhas dos ramos plagiotrópicos; ³CA – Caule apical; ⁴FB – Folhas basais; ⁵CB – Caule basal; ⁶R – Raízes.
Médias seguidas pela mesma letra enquadram-se no mesmo agrupamento, de acordo com o teste de Scott-Knott a 5%.

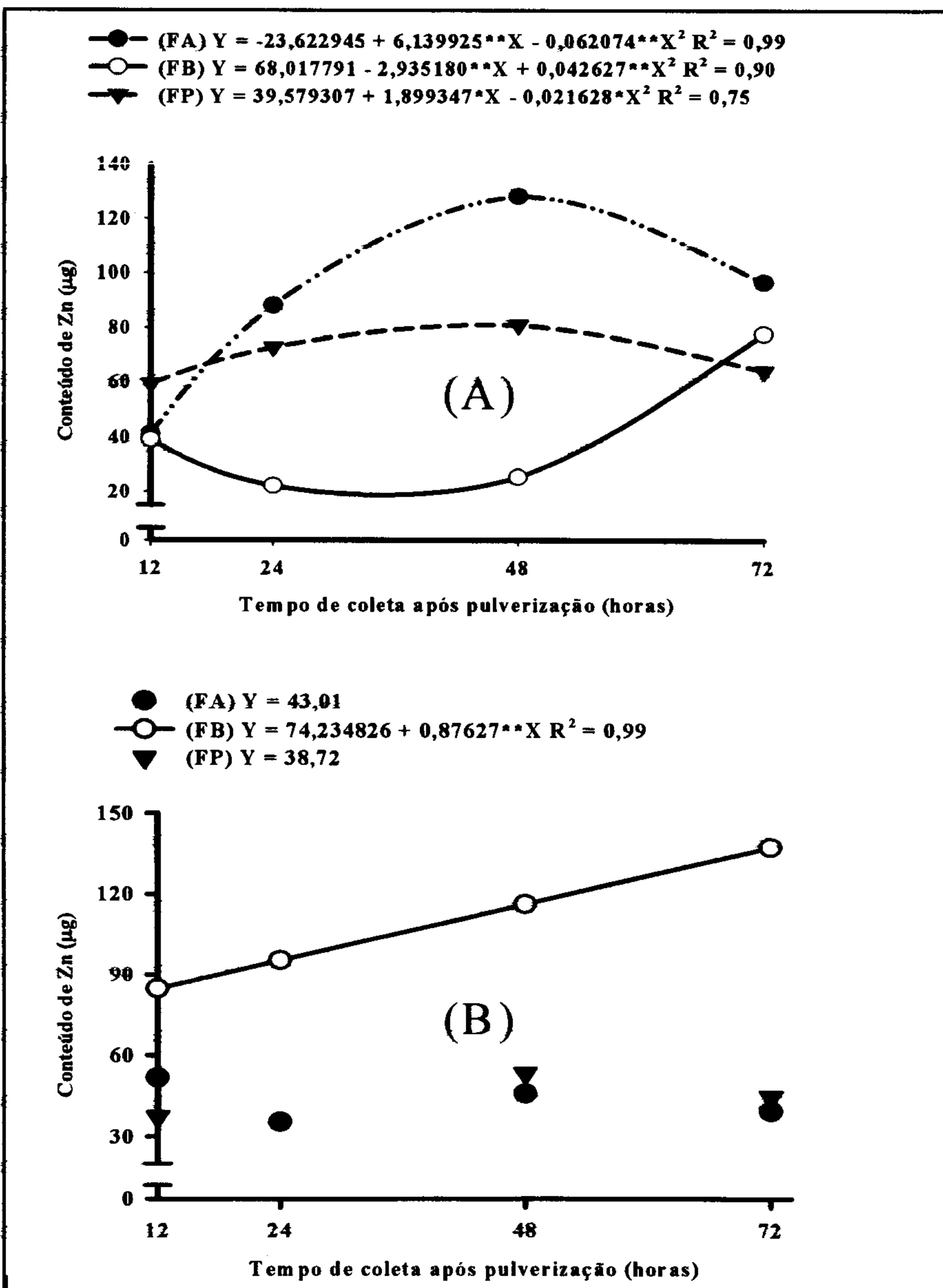


FIGURA 2 – Conteúdo de Zn nas posições de coleta FA (folhas apicais), FP (folhas dos ramos plagiotrópicos) e FB (folhas basais) em mudas de café nas posições de aplicação ápice (A) ou base (B), em função dos tempos de coleta após a pulverização.

Corroborando esses resultados, embora com outra espécie, Franco (5) verificou que o Zn apresentou mobilidade no floema do feijoeiro, sendo, neste caso, retranslocado da parte aérea para o sistema radicular. Entretanto, em plantas de cafeeiro estudadas por esse mesmo autor, ocorreu mínima mobilidade de Zn no floema. A menor mobilidade do Zn aplicado às folhas do cafeeiro deve estar relacionada ao pequeno transporte desse nutriente no floema ou à forma como ele se encontra no tecido vegetal (4). Os teores de Zn em cafeeiro foram sempre maiores no terceiro par em que ocorreu a pulverização, em relação ao segundo ou quarto não-pulverizados (18).

O acúmulo de Zn nas folhas depende em grande parte do estado nutricional da planta. Em plantas deficientes em Zn, a mobilidade desse nutriente torna-se menor nos tecidos mais jovens (8, 19), que tendem a acumular, preferencialmente, mais Zn que tecidos maduros, pois representam regiões metabolicamente mais ativas, com grande demanda de nutrientes. Em plantas deficientes em Zn, observa-se então maior concentração deste nutriente nos meristemas vegetativos que nas folhas mais velhas. No entanto, em condições nutricionalmente adequadas, há maior acúmulo deste nutriente nas folhas velhas (9).

O caule da base acumulou altos teores de Zn quando este foi aplicado na base (Quadro 2). Alguns autores comentam que o caule é o órgão da planta que mais acumula Zn (5, 16), o que pode ser explicado pela grande afinidade do Zn^{++} do sulfato com as cargas livres nos vasos condutores (5). O caule é um importante componente da rota de transporte nas plantas, e esse acúmulo de Zn no caule sugere uma forma de reserva de Zn no vegetal, podendo ser remobilizado em caso de demanda deste micronutriente (16).

CONCLUSÃO

Praticamente não há translocação do Zn quando aplicado na posição basal. Já na posição apical, ocorre o seu transporte para a base, sugerindo um transporte basípeto, ou seja, via floema.

REFERÊNCIAS

1. BAR-YOSEF, B. pH - dependent zinc adsorption by soils. Soil Science Society of America Journal, 43: 1095-9, 1979.
2. 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, 16:79-87, 1992.
3. EPSTEIN, M. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. São Paulo, USP/Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

4. 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, Universidade Federal de Viçosa, 1992. 91p. (Tese de mestrado).
5. FRANCO, I.A.L. Translocação e compartimentalização de Zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997, 68p. (Tese de doutorado).
6. HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p. (Bulletin no. 347).
7. LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibrium of micronutrientes in soil. In: Mortevedt, J.J. (ed). Micronutrients in agriculture. Madison, Soil Science Society America, 1972. p.243-63.
8. LONERAGAN, J.F.; KIRK, G.J. & WEBB, M.J. Translocation and function of zinc in roots. *Journal of Plant Nutrition*, 10:1247-54, 1987.
9. LONGNECKER, N.E. & ROBSON, A.D. Distribution and transport of Zn in plants. In: Robson, A.D. (ed.). Zinc and soil and plants. Dordrecht, Kluwer Academic, 1993.p.79-91.
10. LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba, POTAFOS, 1998.117p.
11. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980.251p.
12. MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, A.S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.201p.
13. 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, Universidade Federal de Lavras, 1997. 66p. (Dissertação de mestrado).
14. 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, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 81p.(Tese de mestrado).
15. OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C. & VASCONCELLOS, C.A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:609-15, 1999.
16. PEARSON, J.N. & RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 46:1829-35, 1994.
17. PEASLEE, D.E.; ISARANGKURA, R. & LEGGETT, J.E. Accumulation and translocation of zinc by two corn cultivars. *Agronomy Journal*, 4:729-32, 1981.
18. 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, Espírito Santo do Pinhal, 1990. Resumos, MIC/IBC, 1990. p.40.
19. 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*, 9:111-5, 1997.
20. SANTA MARIA, G.E. Bidirectional Zn-fluxes and compartmentation in wheat seedling roots. *Journal of Plant Physiology*, 132:312-25, 1988.
21. SHUMAM, L.M. Zinc, manganese, and cooper in soil fractions. *Soil Science* 127:10-7, 1979.
22. SIQUEIRA, M. de O. Adsorção de zinco por solos com remoção da matéria orgânica e de óxidos de ferro e de alumínio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 81p. (Tese de mestrado).