



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Galvêas Laviola, Bruno; Prieto Martinez, Herminia Emilia; Chamhum Salomão, Luiz Carlos; Cruz, Cosme Damião; Mendonça, Sebastião Marcos; Domiciano Silva Rosado, Luciana
ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM DUAS ALTITUDES DE CULTIVO:
MICRONUTRIENTES

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1439-1449

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061021>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO DUAS ALTITUDES DE CULTIVO: MICRONUTRIENTES

Bruno Galvães Laviola⁽²⁾, Herminia Emilia Prieto Martinez⁽³⁾, Luiz Carlos Chamhum Salomão⁽³⁾, Cosme Damião Cruz⁽⁴⁾, Sebastião Marcos Mendonça⁽⁵⁾ & Luciana Domiciano Silva Rosado⁽⁶⁾

RESUMO

Dado à importância de se conhecer a exportação de micronutrientes pelos frutos, bem como, as épocas em que são mais demandados pelo cafeeiro, estudou-se o acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn em frutos de *Coffea arabica* L da antese à maturação, em lavouras estabelecidas em duas altitudes. Estudou-se também a variação no teor desses elementos. Estudou-se o acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn em frutos de cafeeiro arábico da antese à maturação em duas altitudes, bem como a variação na concentração dos elementos em folhas dos ramos produtivos. O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com três repetições, usando um esquema de parcela subdividida no tempo. O aumento da altitude influenciou o ciclo reprodutivo do cafeeiro, demandando maior tempo para formação dos frutos. O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como o enchimento de grãos, foi mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessitou completar esses processos em menor espaço de tempo. No estádio de expansão rápida, a percentagem de acúmulo de micronutrientes foi maior na altitude de 720 m, comparada à de 950 m. De modo geral, a altitude influenciou a variação das concentrações foliares de nutrientes, apesar de não se ter observado resposta-padrão da concentração foliar ao aumento da altitude. Conclui-se que a altitude teve influência na extensão do ciclo, bem como no acúmulo de micronutrientes em frutos e na variação, das concentrações foliares destes elementos em folhas de cafeeiro.

Termos de indexação: fisiologia vegetal, *Coffea arabica* L., nutrição mineral, temperatura.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado em Fitotecnia do primeiro autor. Recebido para publicação em novembro de 2006 e a julho de 2007.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, DSc., Pesquisador da Embrapa Agroenergia. CEP 70770-901 Brasília (DF). bruno.laviola@embrapa.br

⁽³⁾ Professor(a) do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). herminia@ufv.br / lsalomao@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Biologia Geral, UFV. E-mail: edcruz@ufv.br

SUMMARY: NUTRIENT ACCUMULATION IN COFFEE FRUITS AT TWO ALTITUDES: MICRONUTRIENTS

*In view of the importance of knowing fruit micronutrients export from the soil, and the season in which its coffee-plant demand is higher, the accumulation of B, Cu, Fe, Mn and Zn in fruits as well as the variation in the leaf content of the elements in productive branches of Arabic coffee was studied. The trial was performed in the period between anthesis and maturation at two altitudes. The experiment consisted of the coffee (*Coffea arabica* L.) variety Catuaí IAC 44 cultivated at 720 and 950 m asl, in Martins Soares, MG, Brazil. The experimental design was completely randomized with 3 repetitions using split-plots in time. The altitude affected the reproduction cycle of the coffee trees, particularly the time required for fruit formation. Micronutrient accumulation for fruits as well as grain filling are more critical at lower altitude since plants need to complete these processes in a shorter time. In the fast fruit expansion stage the percentages of micronutrient accumulation was higher in plants at 720 m than at 950 m asl. In general, the altitude influenced the variation in leaf nutrient content, although no response pattern to higher altitude was observed in the leaf concentration. It is concluded that the altitude of coffee plantations affects cycle extension, micronutrient accumulation in fruits and the variation of them in coffee plant leaves.*

Index terms: plant physiology; *Coffea arabica* L.; mineral nutrition; temperature.

INTRODUÇÃO

Os principais micronutrientes requeridos pelo cafeeiro são B, Cu, Fe, Mn e Zn, os quais, apesar de requeridos em pequenas quantidades, são de grande importância para o crescimento, desenvolvimento e produção do cafeeiro (Miguel et al., 2002). De modo geral, os solos adequados à cafeicultura apresentam baixa disponibilidade de alguns micronutrientes (Martinez et al., 2003a), devido à falta real ou mesmo a fatores que limitam a absorção, sendo comum a observação dos sintomas de deficiência nas lavouras (Martinez et al., 2003b).

A melhor época para fornecimento de nutrientes para suprir as exigências do crescimento e desenvolvimento dos frutos é dependente do período de maior consumo de nutrientes pelo cafeeiro (Matiello et al., 2005). Por serem os frutos os drenos preferenciais durante o período reprodutivo (Rena & Maestri, 1985; Carvalho et al., 1993), é importante que o suprimento de nutrientes pelas adubações anteceda os picos de acúmulo dos elementos nos frutos.

O ciclo fenológico do cafeeiro pode variar de acordo com a região em que está estabelecido, sendo mais longo em regiões de elevada altitude. Em função disso, é possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados nessas regiões seja mais tardio que naquelas de baixa altitude. Dessa forma, as épocas e os intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando-se em conta o período de maior exigência nutricional do cafeeiro em cada região.

estabelecer sua curva de acúmulo em frutos à maturação, em lavouras estabelecidas a altitudes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPECA), localizado no município de Martins Soares, MG. O experimento foi constituído da variedade Catuaí IAC 44 (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 em duas altitudes (Quadro 1).

No mês de agosto de 2005 foi realizada a caracterização química do solo de cada talhão da propriedade (Quadro 2), a fim de efetuar a correção de pH, fertilidade do solo e o fornecimento de nutrientes minerais. O fornecimento de macronutrientes foi feito de maneira dependendo da fertilidade do solo e da carga de frutos (Guimarães et al., 1999) (Quadro 3). O nitrogênio foi fornecido como elemento acompanhante de ferro e micronutrientes. Os micronutrientes Zn, B e Mn foram supridos por meio de três aplicações foliares realizadas aos 8, 72 e 103 dias após a antese (19/10/2005, 13/01/2006 e 22/01/2006, respectivamente), utilizando sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de magnésio, cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g L⁻¹ de cada fertilizante.

O delineamento experimental empregado foi o

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM DUAS ALTITUDES...

Quadro 1. Caracterização das lavouras de cafeiro Catuai IAC 44 utilizadas no experimento

Altitude	Idade	Espaçamento	Produtividade ⁽²⁾
720 m	4 anos ⁽¹⁾	2,0 x 1,0	31,60
950 m	11 anos	1,7 x 0,7	45,16

⁽¹⁾ Lavoura recepada em 2002. ⁽²⁾ Uma saca de café com 60 kg.

Quadro 2. Características químicas e físicas dos solos da área experimental

Altitude	MO	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+
	dag kg ⁻¹		— mg dm ⁻³ —		— cmol _c dm ⁻³ —			
720 m	3,58	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	4,2
950 m	4,61	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	8,2
	CTC	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	%		mg dm ⁻³			
720 m	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	1,5
950 m	11,25	24,13	27	13,5	28,1	12,4	3,1	1,5

pH em H₂O: relação 1:2,5. CTC: capacidade de troca de cátions. P, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich-1. Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺: ACl 1 mol L⁻¹. H + AL: método Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹, pH 7.

três repetições. Para cada altitude foram selecionadas 20 plantas, dispostas em quatro fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

As amostragens iniciaram-se em 11 de outubro de 2005, quando houve antese floral, ocasião em que se coletaram folhas e flores, sendo este considerado como dia zero. A partir dessa data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeiro: aos 34, 52, 65, 85, 100, 114, 134, 161, 190, 217, 239 e 266 dias após a antese (DAA). Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos pertencentes ao terço médio da planta, e as folhas foram correspondentes ao terceiro e quarto pares, contadas a partir do ápice, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Foram coletados 100 frutos/parcela nas quatro primeiras amostragens, 60 frutos/parcela entre a quinta e a oitava amostragem e 20 frutos/parcela nas amostragens seguintes. As folhas foram coletadas em um número fixo de 15 folhas/parcela durante todas as amostragens.

Durante o período reprodutivo, as temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre

Quadro 3. Adubação empregada no ano agrícola 2005/2006

Altitude	N	P ₂ O ₅
	kg ha ⁻¹	
720 m	390	0
950 m	370	0

Quadro 4. Temperaturas médias das mínimas e máximas e umidade relativa ocorridas no período reprodutivo do cafeiro, em duas altitudes

Temperatura e umidade	Altitude
	720 m
Mínima média (°C)	16,22

Quadro 5. Índice pluviométrico mensal durante o ano agrícola 2005/06

						Ano 2005								
						Agosto Setembro Outubro Novembro Dezembro								
						mm								
						12,0	168,4	59,3	353,5	278,2				
						Janeiro Fevereiro Março Abril Maio Junho Julho								
						mm								
						7,0	131,0	256,5	121,8	31,0	8,0	13,8		

O material vegetal coletado foi lavado em água desionizada e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, conforme descrito por Jones Junior et al. (1991). Após esse processo, os materiais vegetais foram pessados, moídos em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passados em peneira de malha de 0,841 mm² e acondicionados em embalagens de papel devidamente identificadas, para realização das análises químicas.

Para determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn, o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão nitroperclórica (Johnson & Ulrich, 1959), sendo quantificado por espectrofotometria de absorção atómica (AOAC, 1975). O B foi analisado após digestão das amostras por via seca (calcinação em mufla a 550 °C) e determinado por colorimetria pelo método da Azometrina-H (Bingham, 1982).

O acúmulo dos micronutrientes por fruto (µg/fruto) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS (mg/fruto)} \times \text{Concentração de nutriente (mg kg}^{-1})}{1.000}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de micronutrientes em frutos e a variação de nutrientes em folhas, utilizaram-se modelos de regressões sigmoidais com três e quatro parâmetros e cúbico, conforme descrito a seguir. A escolha dos modelos se deu de acordo com o ajuste (R^2) e a melhor representação do fenômeno.

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{(x - x_0)}{b}\right)}$$

$$\hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{(x - x_0)}{b}\right)}$$

$$\hat{y} = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$$

Os pontos de inflexão das curvas a corresponderam aos momentos em que ocorreram taxas máximas de acúmulo de matéria seca e nutrientes nos frutos (X_{TMAD}). A taxa média de acúmulo diário (TMAD, mg dia⁻¹) foi determinada a partir da taxa de acúmulo de matéria seca e nutrientes no momento da inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

Os pontos de curvatura mínima (PC_{min}) e máxima (PC_{max}) nos modelos sigmoidais foram calculados conforme método citado por Venegas et al. (1992), utilizando os parâmetros das equações não-lineares.

$$C_{\min} = x_0 - 2b \quad C_{\max} = x_0 + 2b$$

O PC_{min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos significativos nos níveis de micronutrientes. Já o PC_{max} indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (ARe) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo de acúmulo em cada estádio de formação do fruto, sendo expresso em percentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$ARe = A_f - A_i$$

$$ARe = \frac{\text{acúmulo relativo no estádio de formação do fruto}}{\text{acúmulo no final e início do estádio}}$$

$$AFeA_I = \frac{ARe}{AT} * 100$$

$$AT = \text{acúmulo alcançado aos 266 DAA}$$

Calculou-se a diferença entre os teores de nutrientes no início do ciclo reprodutivo, na época da florada, em relação às concentrações foliares de micronutrientes em meados dos estádios de expansão rápida (77, 87 DAA a 720 m e 79,5 DAA a 950 m) e grande (162,5 DAA a 720 m e 188 DAA a 950 m). O gradiente de concentração indica se houve crescimento ou diminuição do acúmulo de micronutrientes nos momentos de maior exigência nutricional do fruto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altitude de cultivo da lavoura influenciou a duração dos estádios reprodutivos, bem como a extensão do ciclo do cafeiro. Na altitude de 950 m, observou-se que o fruto necessitou de 211 dias para a sua formação, enquanto a 720 m a formação ocorreu 262 dias após a antese (DAA) (Laviola et al., 1992). É provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Quadro 4) tenha influenciado a atividade enzimática e o transporte de fotossíntidos para a formação do fruto.

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM DUAS ALTITUDES...

Viçosa-MG, o qual verificou ciclo de 224 dias para formação dos frutos de cafeiro. Entretanto, Viçosa está a 650 m de altitude, o que evidencia a redução da extensão do ciclo do cafeiro em menores altitudes.

Os frutos de cafeiro passaram por cinco estádios distintos de formação: chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação. Cada estádio de formação possui funções fisiológicas e metabólicas próprias, essenciais à formação final da semente de café (Laviola et al., 2007).

As curvas de acúmulo de micronutrientes em frutos de cafeiro seguiram um modelo sigmóide simples, com exceção para o Cu a 720 m e o Mn a 950 m de altitude (Figura 1). Geralmente o padrão das curvas de micronutrientes em frutos difere do padrão de acúmulo de matéria seca em frutos, o qual segue um modelo de sigmóide dupla (Coombe, 1976; Rena & Maestri, 1985).

No estádio de chumbinho os frutos apresentam baixa taxa de crescimento (Laviola et al., 2007), que, segundo Cannel (1971) e Leon & Fournier (1962), pode ser decorrente da elevada taxa respiratória e de multiplicação celular, não se observando efeito da altitude no acúmulo de micronutrientes nos frutos de cafeiro neste estádio (Figura 1; Quadros 6, 8 e 9). É possível que os efeitos da altitude, principalmente os relacionados à temperatura (Quadro 4), influenciem menos nas primeiras semanas de formação do fruto de cafeiro. De modo geral, a ascensão no acúmulo de micronutrientes (PC_{min} , Quadro 7) apresentou tendência de começar antes do início do estádio de expansão rápida. Isso indica que as demandas metabólicas por micronutrientes nos frutos iniciam-se um pouco antes do estádio de expansão rápida, no qual se observam incrementos significativos de matéria seca nos frutos (Cannel, 1971; Coombe, 1976).

Pode-se observar, no estádio de chumbinho, que a proporção (%) de acúmulo, tanto de B como de Zn, nos frutos foi maior, quando comparada à de acúmulo dos outros micronutrientes (Quadro 8). É provável que o maior acúmulo de B e Zn no estádio de chumbinho esteja relacionado à grande importância destes nutrientes nos processos de divisão celular e na estabilização de membranas das novas células formadas (Marschner, 1995; Marenco & Lopes, 2005).

O estádio de expansão rápida se caracteriza, principalmente, por rápido alongamento das células dos frutos, atingindo cerca de 80 % do seu tamanho final. O acúmulo de matéria seca no estádio de expansão rápida está relacionado, principalmente, à expansão celular, com deposição de material de parede, sendo essencial o fluxo de água para os frutos no processo de alongamento celular. Provavelmente, o acúmulo de nutrientes nos frutos no estádio de expansão ocorre por fluxo de massa decorrente das

No estádio de expansão rápida, a influenciou o acúmulo de micronutrientes (Quadro 8), observando-se, proporcionando maiores acúmulos relativos (ARe) de B, Cu e Zn na altitude de 720 m, em relação à de 950 m, maiores valores da TMAD na altitude (Quadro 7) concorrem para que houve maior acúmulo de nutrientes no final do estádio de expansão rápida, na altitude de 720 m. As temperaturas máximas (27 °C) e mais elevadas ocorridas na altitude de 720 m possivelmente contribuíram para que houvesse maiores taxas de translocação de micronutrientes para os frutos neste estádio.

Dentre todos os micronutrientes, o Cu é o elemento que apresentou maior acúmulo relativo no estádio de expansão rápida, demonstrando a importância deste na síntese de triptofano, um precursor da biossíntese da auxina, ácido indol-3-acético (AIA), essencial para o processo de alongamento (Marschner, 1995).

O estádio de crescimento suspenso caracteriza-se por desaceleração no crescimento dos frutos de cafeiro, apresentando baixas taxas de acúmulo de matéria seca (Rena et al., 2001). No entanto, o acúmulo de micronutrientes manteve-se constante neste estádio de crescimento (Figura 1; Quadro 9). Neste estádio, acredita-se que esteja envolvida a reciclagem e síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004), empregados na síntese de polímeros de proteínas que serão utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estádio de granação. O fato de os micronutrientes terem papéis importantes na ativação de enzimas (Marschner, 1995), que o acúmulo contínuo deles no estádio de crescimento suspenso tenha ocorrido em função do aumento da demanda metabólica desses elementos.

No estádio de granação, também chamado de estádio do endosperma, a matéria seca é depositada, sobretudo, nas sementes (Laviola et al., 2007). A estabilização (PC_{max}) no acúmulo de micronutrientes no estádio de granação ocorreu em menor tempo (aproximadamente 10 dias) na altitude de 720 m (Quadro 8), ou seja, a altitude de 720 m não teve efeito na velocidade de transporte dos micronutrientes para os frutos. Além disso, o acúmulo de micronutrientes se estabilizou-se antes do final do estádio de granação, ou seja, primeiros são acumulados os nutrientes que depois completarem-se os processos finais de maturação das sementes. O consumo de nutrientes pelo fruto, assim como o enchimento de grãos, é mais intenso em condições de menor altitude, já que a planta necessita de mais tempo para completar esses processos em menor espaço.

O X_{TMAD} nas duas altitudes ocorreu entre os estádios de expansão rápida do fruto e de granação. O estádio de granação deste, dependendo do tipo de micronutriente avaliado (Quadro 7), Apresentou menor acúmulo de nutrientes na altitude de 950 m.

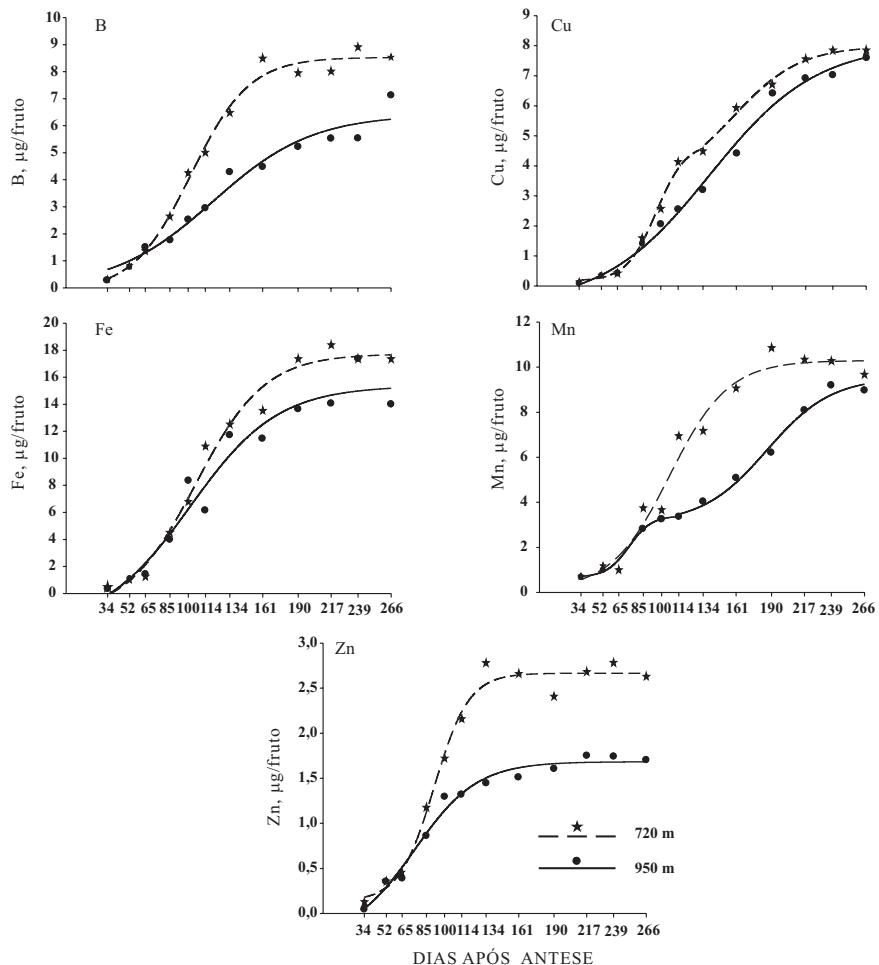


Figura 1. Acúmulo de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em frutos de caféiro em função do tempo após a antese, em duas altitudes.

O acúmulo relativo no estádio de granação (Quadro 8) foi maior na altitude de 950 m, comparada à de 720 m. Isso ocorreu, principalmente, em razão do acúmulo de micronutrientes na altitude de 720 m ter se antecipado nas primeiras fases de formação do fruto.

Após o estádio de granação iniciou-se o de maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudanças na coloração da casca do fruto (Puschmann, 1975; Rena et al., 2001). Apesar de o estádio de maturação (Quadro 6) ter perdurado até 266 DAA, época em que foi realizada a última amostragem, na altitude de

Os efeitos da altitude no acúmulo de B, Mn e Zn estão relacionados, sobretudo, a variações de temperaturas máximas entre as altitudes (Oliveira et al., 2004). De acordo com Larcher (2004), a temperatura influencia diretamente sobre processos regulatórios da planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, consequentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas – isso também desfavorece a absorção de nutrientes pelas raízes.

Em temperaturas mais elevadas, aumenta a velocidade de difusão e de fluxo em massa de nutrientes para as raízes; a penetração de nutrientes

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM DUAS ALTITUDES...

Quadro 6. Equações de regressão do acúmulo de micronutrientes em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese

Nutriente	Altitude	Período (DAA)	Modelo
		dia	
B	720 m	34–266	$\hat{y} = -0,1336 + 8,6642 / (1 + \exp(-(x - 102,3467) / 23,9163))$
	950 m	34–266	$\hat{y} = 6,4097 / (1 + \exp(-(x - 120,4642) / 40,5818))$
Cu	720 m	34–134	$\hat{y} = 0,1694 + 4,6018 / (1 + \exp(-(x - 96,4392) / 12,0166))$
		114–266	$\hat{y} = 3,3409 + 4,6470 / (1 + \exp(-(x - 159,1127) / 26,7152))$
	950 m	34–266	$\hat{y} = -0,6381 + 8,6831 / (1 + \exp(-(x - 139,6711) / 43,0022))$
Fe	720 m	34–266	$\hat{y} = -1,4979 + 19,2159 / (1 + \exp(-(x - 106,1629) / 28,2750))$
	950 m	34–266	$\hat{y} = -2,4301 + 17,7910 / (1 + \exp(-(x - 101,7280) / 35,7521))$
Mn	720 m	34–266	$\hat{y} = 0,0996 + 10,1966 / (1 + \exp(-(x - 106,6915) / 240336))$
	950 m	34–114	$\hat{y} = 0,6776 + 2,7235 / (1 + \exp(-(x - 73,3391) / 9,1945))$
		100–266	$\hat{y} = 3,0761 + 6,4690 / (1 + \exp(-(x - 186,0927) / 26,4541))$
Zn	720 m	34–266	$\hat{y} = 0,1354 + 2,5302 / (1 + \exp(-(x - 91,3274) / 14,3091))$
	950 m	34–266	$\hat{y} = -0,2669 + 1,9509 / (1 + \exp(-(x - 75,4248) / 25,6446))$

Quadro 7. Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diário e pontos de curvatura mínima (PC_{min} , DAA) e máxima (PC_{max} , DAA), em duas altitudes

Nutriente	Altitude	Período	X_{TMAD}	TMAD	C_{min}	C_{max}
		dia		μg/fruto	dia	
B	720 m	34–266	102	0,091	55	15
	950 m	34–266	120	0,039	39	20
Cu	720 m	34–134	96	0,096	72	12
		114–266	159	0,043	106	21
	950 m	34–266	139	0,051	54	22
Fe	720 m	34–266	106	0,170	50	16
	950 m	34–266	101	0,124	30	17
Mn	720 m	34–266	106	0,106	59	15
	950 m	34–114	73	0,074	55	9
		100–266	186	0,061	133	23

Quadro 8. Acúmulo relativo (ARe) de acordo com o estádio de formação do fruto de cafeiro em altitudes

Nutriente	Altitude	Chumbinho		Exp. rápida		Cresc. susp.		Granação		Maturação	
		ARe	%	ARe	%	ARe	%	ARe	%	ARe	
B	720 m	1,369	16,07	3,428	40,23	0,436	5,12	3,206	37,62	0,082	
	950 m	1,203	19,29	1,137	18,23	0,610	9,79	3,269	52,42	0,017	
Cu	720 m	0,483	6,11	3,091	39,11	0,331	4,18	3,500	44,28	0,499	
	950 m	0,563	7,40	1,118	15,61	0,694	9,13	5,123	67,34	0,040	
Fe	720 m	2,146	12,15	6,456	36,55	0,841	4,76	7,825	44,31	0,393	
	950 m	1,884	12,41	4,118	27,12	1,975	13,01	7,185	47,32	0,021	
Mn	720 m	1,629	15,84	3,814	37,09	0,525	5,10	4,198	40,82	0,118	
	950 m	1,242	13,43	1,985	21,47	0,142	1,54	5,829	63,06	0,046	
Zn	720 m	0,482	18,09	1,913	60,53	0,140	5,23	0,430	16,13	0,001	
	950 m	0,441	26,22	0,671	39,87	0,217	12,91	0,353	21,00	0,001	

⁽¹⁾ Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças de coloração da casca correspondentes à maturação tenham se iniciado antes.

aumento da temperatura acelera a atividade respiratória da planta e incrementa o metabolismo nas raízes e a produção de ATP, liberando energia, que é utilizada de diversos modos para absorção de íons (Marenco & Lopes, 2005).

Além de influenciar os processos de absorção, a temperatura também pode alterar a taxa de transporte de nutrientes, assim como a partição de fotoassimilados no floema. Segundo Taiz & Zeiger (2004), o resfriamento de um tecido-dreno inibe as atividades que necessitam de energia metabólica e resulta na diminuição da velocidade do transporte em direção ao dreno. De acordo com Rena & Maestri (1985), a temperatura ótima para assimilação de CO₂ no cafeiro varia de 20 a 30 °C, dependendo da temperatura em que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores.

O fornecimento de micronutrientes ao cafeiro, seja via solo ou via folha (Guimarães et al., 1999; Rena & Favaro, 2000), deve se iniciar antes do estádio de expansão rápida do fruto. Nas condições experimentais, o fornecimento de B, Cu e Zn deveria ocorrer antes dos 34 DAA (9/11/2005). Se a aplicação de micronutrientes for via solo, ela deve ser efetuada após a florada, pelo fato de as fontes de micronutrientes apresentarem, em geral, baixa taxa de liberação.

Se o fornecimento dos micronutrientes for via folha, ele poderá ser efetuado em torno dos 30 DAA, já

Calculando as médias dos momentos em que se estabiliza o acúmulo de B, Cu e Zn em frutos de cafeiro, se que estes momentos ocorrem aos 160 DAA e 185 DAA na altitude de 950 m. Considerando pulverizações anuais para fornecimento de micronutrientes (Matiello et al., 2005) e que a pulverização deva ocorrer pelo menos 20 dias depois do fim do acúmulo de micronutrientes, pode-se sugerir a seguinte sugestão de aplicação foliar: efetuar pulverizações anuais, sendo a primeira realizada 30 DAA, independentemente da localização da planta, a segunda e a terceira devem ocorrer com intervalos de 30–35 dias em lavouras estabelecidas em altitudes próximas a 720 m e intervalos de 40–45 dias em cafezais estabelecidos em altitudes em torno de 950 m. Independentemente da altitude, a concentração de Zn na calda deve ser em proporção superior às primeiras pulverizações.

Dentre os três principais micronutrientes, o Zn é o único que não pode ser fornecido eficientemente via solo, devido à sua grande facilidade em ser adsorvida pelos colóides (Rena & Favaro, 2000). Entretanto, o fornecimento do Zn via foliar isoladamente, ou que as pulverizações ocorram com intervalos de 30 dias, independentemente da altitude.

A concentração de micronutrientes B, Cu e Zn no terceiro e quarto pares de folhas de ramos principais ao longo do ciclo reprodutivo do cafeiro (Tabela 8)

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM DUAS ALTITUDES...

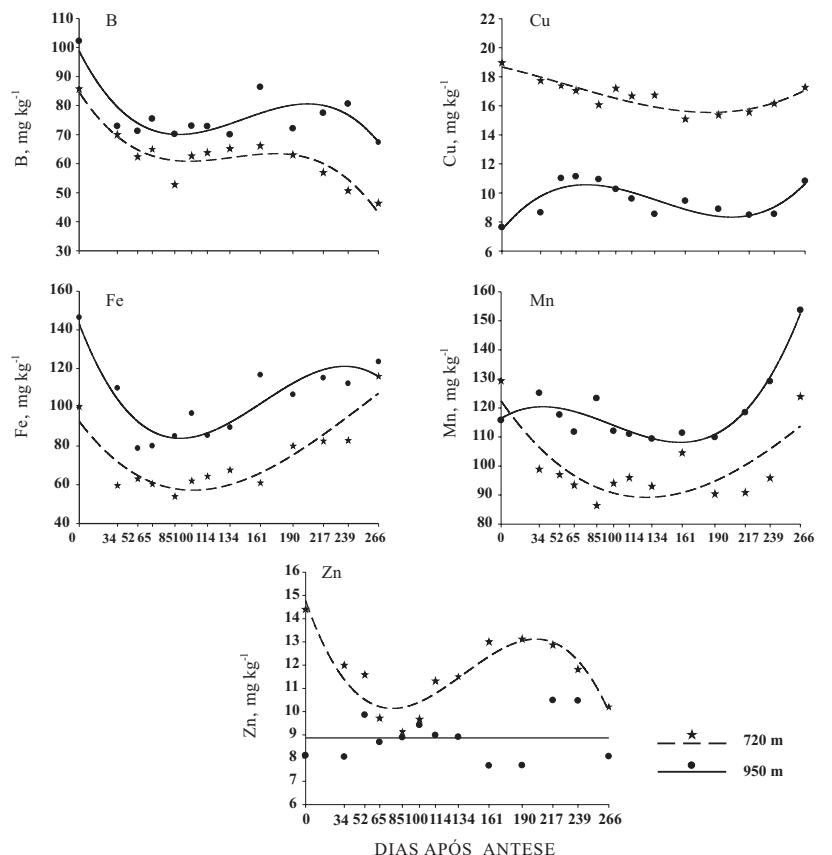


Figura 2. Variação na concentração de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em folhas de cafeiro em função do tempo decorrido após a antese, em duas altitudes.

Quadro 9. Equações de regressão da variação nas concentrações de micronutrientes em folhas de cafeiro em função do tempo decorrido após a antese, em duas altitudes – ponto de mínimo (X_{\min}) e máximo (X_{\max})

Nutriente	Altitude	Modelo	R ²	X _{min}	X _{max}
B	720 m	$\hat{y} = 84,6806 - 0,6003x + 0,0048x^2 - 0,0000117x^3$	0,872	266	— dias —
	950 m	$\hat{y} = 98,8114 - 0,7604x + 0,0062x^2 - 0,0000141x^3$	0,739	266	
Cu	720 m	$\hat{y} = 18,6776 - 0,0183x - 0,0000808x^2 + 0,000000477x^3$	0,815	183	
	950 m	$\hat{y} = 7,4351 + 0,0964x - 0,0009x^2 + 0,00000216x^3$	0,738	0	266
Mn	720 m	$\hat{y} = 122,4093 - 0,5578x + 0,0027x^2 - 0,00000258x^3$	0,631	101	266
	950 m	$\hat{y} = 116,3268 + 0,2381x - 0,0040x^2 + 0,0000134x^3$	0,917	90	
Fe	720 m	$\hat{y} = 92,7241 - 0,7361x + 0,0047x^2 - 0,00000615x^3$	0,839	129	266
	950 m	$\hat{y} = 143,0347 - 1,5084x + 0,0116x^2 - 0,0000238x^3$	0,818	159	

Quadro 10. Concentrações foliares de micronutrientes na floração (C_F), comparada às concentrações em meados dos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação (C_G), em duas altitudes

Nutriente	Altitude	Florada	Crescimento rápido	$C_{ER} - C_F$		$C_G - C_F$
					mg kg ⁻¹	
B	720 m	84,68	60,98	-23,69	63,25	-21,4
	950 m	98,81	70,23	-28,57	80,06	-18,7
Cu	720 m	18,67	18,78	-1,88	15,61	-3,0
	950 m	7,43	10,54	3,12	8,39	0,9
Fe	720 m	92,72	57,76	-34,96	66,51	-26,2
	950 m	143,03	84,55	-58,47	111,83	-31,2
Mn	720 m	122,41	92,325	-30,08	90,961	-31,4
	950 m	116,33	116,99	0,66	110,49	-5,8
Zn	720 m	14,78	10,19	-4,58	12,42	-2,3
	950 m	8,86	8,86	-	8,86	-

Quanto ao Cu e Mn, eles apresentaram mínima concentração nas folhas no estádio de granação. Durante todo o período reprodutivo, observou-se que as concentrações de B, Fe e Mn nas folhas permaneceram maiores na altitude de 950 m, comparada à de 720 m. Isso pode ter ocorrido em razão da competição pela translocação dos elementos, já que os frutos na altitude de 720 m apresentaram maior acúmulo final dos nutrientes (Figura 1).

No quadro 10 encontra-se a comparação das concentrações foliares em meados dos estádios de expansão rápida e de granação com as concentrações foliares observadas no início do ciclo reprodutivo (floração). Essas comparações indicam se houve competição, ao longo do ciclo reprodutivo, pela translocação dos micronutrientes. De modo geral, observou-se que a presença dos frutos resultou em forte competição fruto/folha pela participação dos micronutrientes, independentemente do estádio de formação dos frutos. Apesar disso, as concentrações de micronutrientes ao longo do período reprodutivo estiveram na maior parte do tempo dentro das faixas de referência estipuladas por Martinez et al. (2004).

3. A concentração de micronutrientes no café não foi influenciada apenas pelo estádio de cultivo, mas também por outros fatores que influenciam a taxa de distribuição de nutrientes para a planta.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, pelo apoio financeiro.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 12.ed. Washington, 1975. 1094p.
- BINGHAM, F.T. Boron. In: PAGE, A.L., ed. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1954. 447. (Série Agronomy, 9)
- CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. Part I. Effect of seasonal differences in rainfall on bean yield. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 36:175-180, 1971.

CONCLUSÕES

1. A altitude influenciou o acúmulo de micro-

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM DUAS ALTITUDES...

- COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. Ann. Rev. Plant Physiol., 27: 507-528, 1976.
- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D. & MONTEIRO, A.V.C. Cafeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5^a Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. p.289-302.
- JOHNSON, C. M. & ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles, University of California, 1959. v.766. p.32-33.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B. & MILLS, H.A. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens, Micro Macro Publishing, 1991. 213p.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 2004. 531p.
- LAVIOLA, B.G. Dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos de cafeiro arábico em três níveis de adubação. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 100p. (Tese de Mestrado)
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D. & MENDONÇA, S.M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeiro em quatro altitudes de cultivo: Cálcio, magnésio e enxofre. R. Bras. Ci. Solo, 31:1451-1462, 2007.
- LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarollo del fruto de *Coffea arabica*. Turrialba, 12:65-74, 1962.
- MARENCO, R.A. & LOPES, N.F. Fisiología vegetal: Fotossíntesis, respiración, relaciones hídricas e nutrición mineral. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 451p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. New York, Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; NEVES, Y.P. & ZABINI, A.V. Diagnóstico do estado nutricional do cafeiro. In: ZAMBOLIM, L., ed. Produção integrada de café. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003b. p.397-1442.
- MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H. & GUIMARÃES, P.T.G. Fatores de concentrações de nutrientes e avaliação nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. Pesq. Agropec. Bras., 38:703-713, 2003.
- MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H.; MENEZES, J.F.S.; NEVES, Y.P.; OLIVEIRA, A.P. & GUIMARÃES, P.T.G. Teoria e prática da mineral, fertilidade do solo e produtividade de cafeeiros nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Vassouras, Sebastião do Paraíso e Guaxupé. 2.ed. Belo Horizonte, EPAMIG, 2004. 60p. (EPAMIG Boletim Técnico, 100)
- MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R. & FERNANDES, D.R. Cultura do cafeiro no Brasil: Novo manual de recomendações. Rio Claro, MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.
- MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; VIANA, A.S. & LOPES, N.F. Teores de micronutrientes nas amostras analisadas pelo laboratório do mapa em Varginha, Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTILIZADORES DE CAFEIRAS, 28., Caxambu, 2002. Anais. Rio Claro, MAPA/PROCAFE, 2002. p.76-77.
- PUSCHMANN, R. Características bioquímicas de frutos de cafeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação. MG, Universidade Federal de Viçosa, 1975. 3 Mestrado)
- RENA, A.B. & FÁVARO, J.R.A. Nutrição do cafeiro. In: ZAMBOLIM, L., ed. Café: Produtividade, sustentabilidade. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.149-208.
- RENA, A.B. & MAESTRI, M. Fisiología del cafeiro. Agropec., 11:26-40, 1985.
- RENA, A.B.; BARROS, R.S. & MAESTRI, M. Desempenho reprodutivo do cafeiro. In: ZAMBOLIM, L., ed. Tecnologias de produção de café com qualidade. MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.1-10.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiología vegetal. 3.ed. Pergamon, Artmed, 2004.719p.
- VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S. & SIMON, J. A comprehensive equation for the pulmonary gas volume curve. J. Appl. Physiol., 84:389-395, 1998.