



**DEFICIÊNCIAS ISOLADAS E SIMULTÂNEAS DE K,  
Ca, Mg, B, Cu E Zn: SINTOMAS, CRESCIMENTO,  
CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E TEORES  
FOLIARES EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.).**

**ROGER ALEXANDRE NOGUEIRA GONTIJO**

**2007**

**ROGER ALEXANDRE NOGUEIRA GONTIJO**

**DEFICIÊNCIAS ISOLADAS E SIMULTÂNEAS DE K, Ca, Mg, B, Cu E  
Zn: SINTOMAS, CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS  
ANATÔMICAS E TEORES FOLIARES EM CAFEIRO (*Coffea arabica*  
L.).**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Doutor”.

**Orientador**

**Prof. Dr. Rubens José Guimarães**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2007**

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

Gontijo, Roger Alexandre Nogueira.

Deficiências isoladas e simultâneas de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn: sintomas, crescimento, características anatômicas e teores foliares em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) / Roger Alexandre Nogueira Gontijo. -- Lavras : UFLA, 2007.

58 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. Cafeeiro. 2. Nutrição. 3. Teor foliar. 4. Deficiência simultânea. 5. Sintoma visual. 6. Anatomia foliar. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.738911

**ROGER ALEXANDRE NOGUEIRA GONTIJO**

**DEFICIÊNCIAS ISOLADAS E SIMULTÂNEAS DE K, Ca, Mg, B, Cu E  
Zn: SINTOMAS, CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS  
ANATÔMICAS E TEORES FOLIARES EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica*  
L.).**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Doutor”.

**APROVADA em 10 de agosto de 2007**

<b>Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho</b>	<b>UFLA</b>
<b>Prof. Dr. Evaristo Mauro de Castro</b>	<b>UFLA</b>
<b>Pesq. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho</b>	<b>EPAMIG</b>
<b>Pesq. Dr. Francisco Dias Nogueira</b>	<b>Bolsista CBP&amp;D/Café</b>

**Prof. Dr. Rubens José Guimarães**  
**UFLA**  
**(Orientador)**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**

Aos meus pais,

**Hilton Gontijo da Fonseca e Maria Sílvia Nogueira Gontijo**

A minha irmã,

**Reisla Nogueira Gontijo**

**DEDICO**

Ao meu irmão,

**Renato Nogueira Gontijo (in memorian)**

**DEDICO EM ESPECIAL**

A minha esposa,

**Daniela Gontijo de Souza**

As minhas filhas,

**Tainah Schwindt Lara Nogueira Gontijo**

**Júlia Gontijo Nogueira de Souza**

**OFEREÇO**

A **Deus**,

Fonte de luz, vida e força em todos os momentos.

Aos meus pais **Hilton Gontijo da Fonseca e Maria Silvia Nogueira Gontijo**, pela presença, amor e carinho.

A minha esposa **Daniela Gontijo de Souza**, pelo amor, carinho, incentivo e apoio.

As minhas filhas **Tainah Schwindt Lara Nogueira Gontijo e Júlia Gontijo Nogueira de Souza**, fontes de inspiração e força.

A minha irmã **Reisla Nogueira Gontijo** pelo incentivo e apoio durante o estudo.

A toda minha família e de minha esposa pela presença e por acreditarem em mim.

A Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura e Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade e condições para a realização do curso.

Ao professor Dr. **Rubens José Guimarães** pela amizade, orientação e incentivo em todas as etapas do curso.

A professora Dra. **Janice Guedes de Carvalho** pela amizade, orientação e ensinamentos imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. **Evaristo Mauro de Castro** pelas orientações e sugestões.

Aos membros da banca examinadora, especialmente aos pesquisadores Doutores **Gladyston Rodrigues Carvalho e Francisco Dias Nogueira**.

Aos colegas **Paulo de Pinho, Franciane Tavares Braga, André Domingueti e Alex Mendonça de Carvalho** pela ajuda e colaboração durante a condução do experimento

Aos funcionários do Departamento de Agricultura pela boa vontade e atenção dispensada.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

**Muito obrigado!!!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
ARTIGO 1: Crescimento, teor foliar e sintoma visual de deficiência nutricional em cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.), submetido à omissão isolada e simultânea de K, Ca, Mg e B.....	01
Resumo.....	02
Abstract.....	03
1 Introdução.....	04
2 Materiais e Métodos.....	05
3 Resultados e Discussão.....	08
4 Conclusões.....	18
5 Referências Bibliográficas.....	19
ARTIGO 2: Deficiência nutricional, crescimento e teor foliar de nutrientes em cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.) decorrente da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn.....	22
Resumo.....	23
Abstract.....	24
1 Introdução.....	25
2 Materiais e Métodos.....	26
3 Resultados e Discussão.....	28
4 Conclusões.....	38
5 Referências Bibliográficas.....	39
ARTIGO 3: Características da anatomia foliar de cafeeiros ( <i>Coffea arabica</i> L.), submetidos a deficiência de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn.....	41
Resumo.....	42
Abstract.....	43
1 Introdução.....	44
2 Materiais e Métodos.....	45
3 Resultados e Discussão.....	47
4 Conclusões.....	54
5 Referências Bibliográficas.....	54

## RESUMO

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira. **Deficiências isoladas e simultâneas de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn: sintomas, crescimento, características anatômicas e teores foliares em cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2007. 56 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.\*

Conduzido em casa de vegetação, o presente trabalho objetivou estudar o desenvolvimento fitotécnico, os teores foliares, os sintomas visuais de deficiência, bem como as mudanças anatômicas foliares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) submetidos a omissão isolada e simultânea de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, sendo as parcelas constituídas de uma planta por vaso de 2 L. Foram utilizadas plantas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), cultivar Topázio MG 1190, e os tratamentos constituídos de: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução com omissão individual de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn e omissão dupla simultânea de K e Mg; Ca e Mg; Ca e B; Cu e Zn; B e Zn. A ausência dos nutrientes na solução promoveu redução de sua concentração nas folhas, independente de estar isolado ou associado a outro. Os teores foliares médios de K (4,95 g/kg), Ca (2,02 g/kg), Mg (1,22 g/kg) e B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) e Zn (3,15 mg/kg), foram sempre inferiores aos apresentados pelas plantas do tratamento completo. A ausência destes nutrientes na solução nutritiva comprometeu o desenvolvimento das plantas, levando a modificações morfológicas com sintomas característicos de deficiência de cada nutriente. Os sintomas de deficiência identificados foram semelhantes aos já descritos na literatura para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com exceção da deficiência de magnésio. A análise visual dos sintomas de deficiência nutricional deve ser confirmada pela diagnose foliar, pois, em condições de campo há possibilidade de ocorrência isolada ou simultânea de deficiência. A redução na matéria seca total das plantas de cafeeiro foi influenciada na seguinte ordem: B>(Ca+B)>(B+Zn)>Cu>Zn>(Cu+Zn)>K>(K+Mg)>Ca>Mg>(Ca+Mg). A deficiência isolada de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn promoveu mudanças anatômicas foliares no cafeeiro. A espessura das epidermes da face abaxial e adaxial, do parênquima esponjoso e paliçádico, do limbo foliar, assim como o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, e a relação entre eles, foram as características anatômicas influenciadas.

---

\* Comitê orientador: Dr. Rubens José Guimarães, (Orientador), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora), UFLA.

## ABSTRACT

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira. **Simultaneous and isolated deficiency of K, Ca, Mg, B, Cu and Zn: symptoms, growth, anatomical characteristics and leaf nutrient levels in coffee (*Coffea arabica* L.)**. 2007. 56 p. Thesis- (Doctorate in Crop Science). – Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.\*

This research was conducted in greenhouse and aimed to study some field growth aspects, the visual deficiency symptoms, the leaf nutrient levels, as well as the leaf anatomical modifications of coffee (*Coffea arabica* L.) submitted to isolated and simultaneous omission of K, Ca, Mg, B, Cu and Zn. The experimental design used was the fully randomized containing four replicates and eight treatments, being the plots composed by a plant per pot 2L. There were used coffee (*Coffea arabica* L.), cultivar Topázio MG 1192,, and the treatments were composed by: nutritive complete solution (Hoagland & Arnon, 1950), solution with individual omission of K, Ca, Mg, B, Cu and Zn, and double simultaneous omission of K and Mg; Ca and Mg; Ca and B; Cu and Zn; B and Zn. The absence of nutrients in the solution caused the reduction of its concentrations in leaves, independently to be isolated or associated with other nutrient. The mean of leaf nutrient levels was for K (4,59g/kg), Ca (2,02g/kg), Mg (1,22g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) and Zn (3,15 mg/kg), were always lower than ones from plants which received the complete solution. The absence of these nutrients in the nutritive solution reduced the plant development, causing morphological modifications with characteristics symptoms of deficiency for each nutrient. The deficiency symptoms were similar from that ones already described in literature for coffee (*Coffea arabica* L.), except for magnesium deficiency. The visual analysis of nutritional symptoms can be confirmed by leaf diagnosis, because in field conditions there is a possibility to occur the deficiency isolated or simultaneous. The reduction plant total dry mass of coffee was influenced in the following order: B>(Ca+B)>(B+Zn)>Cu>Zn>(Cu+Zn)>K>(K+Mg)>Ca>Mg>(Ca+Mg). The isolated deficiency of K, Ca, Mg, B, Cu e Zn promoted the anatomical changes in coffee leaf. The epiderm thickness of abaxial and adaxial face, the palissadic and spongyous parenchyma, the leaf, as well as the plar and equatorial diameter of stomates, and the relations among them, were the characteristics influenced.

---

\* Guidance Committee: Dr. Rubens José Guimarães (Adviser), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-adviser) – UFLA.

## ARTIGO 1

**CRESCIMENTO, TEOR FOLIAR E SINTOMA VISUAL DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.). SUBMETIDO À OMISSÃO ISOLADA E SIMULTÂNEA DE K, Ca, Mg E B**

**Roger Alexandre Nogueira Gontijo<sup>1</sup>, Janice Guedes de Carvalho<sup>2</sup>, Rubens José Guimarães<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup> Departamento de Agricultura (DAG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000  
e-mail: roger@ufla.br, rubensjg@ufla.br, janicegc@ufla.br

<sup>2</sup> Departamento de Ciências do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000.

(Preparado de acordo com as normas da Revista Ciência e Agrotecnologia)

## RESUMO

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira Gontijo. **Crescimento, teor foliar e sintoma visual de deficiência nutricional em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), submetidos à omissão isolada e simultânea de K, Ca, Mg e B.** 2007. p. 1-21. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.\*

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento de cafeeiros e os teores foliares médios de nutrientes quando da omissão isolada ou simultânea de K, Ca, Mg e B, bem como as manifestações de sintomas visuais de deficiência. Foram utilizadas plantas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), cultivar Topázio MG 1190 e os tratamentos constituídos de: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução com omissão individual de K, Ca, Mg e B, e omissão dupla simultânea de K e Mg, Ca e Mg e Ca e B. Os teores foliares médios de K (4,95 g/kg), Ca (2,02 g/kg), Mg (1,22 g/kg) e B (14,98 mg/kg) foram sempre inferiores aos apresentados pelas plantas do tratamento completo e devem figurar como inadequados para o crescimento do cafeeiro. A ausência desses nutrientes na solução nutritiva comprometeu o desenvolvimento das plantas, levando a modificações morfológicas com sintomas característicos de deficiência de cada nutriente. Os sintomas de deficiência identificados foram semelhantes aos descrito na literatura para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com exceção da deficiência de magnésio. A análise visual de sintomas de deficiência nutricional deve ser confirmada pela diagnose foliar, pois, em condições de campo há possibilidade de ocorrência isolada e simultânea de deficiência. A redução na massa seca total das plantas de cafeeiro foi influenciada na seguinte ordem: B > (Ca+B) > K > (K+Mg) > Ca > (Ca+Mg) > Mg.

**Palavras chave:** Cafeeiro, solução nutritiva, teor foliar nutricional, deficiência simultânea, sintoma visual.

---

\* Comitê orientador: Dr. Rubens José Guimarães (Orientador), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora), UFLA.

## ABSTRACT

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira. **Growth, leaf level and visual symptom of nutritional deficiency in coffee (*Coffea arabica* L.), submitted to isolated and simultaneous omission of K, Ca, Mg and B.** 2007. p. 1-21. Thesis (Doctorate in Crop Science). Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.\*

The objective of the present research was to evaluate the coffee growth and the mean leaf nutrient levels when the omission was isolated or simultaneous of K, Ca, Mg and B, as well the manifestation of the visual symptoms of deficiency. There were used coffee (*Coffea arabica* L.) plants, cultivar Topázio MG 1190, and the treatments composed by: full strength of nutritive solution (Hoagland & Arnon, 1950), solution with individual omission of K, Ca, Mg e B and double omission simultaneous of K and Mg, Ca and Mg and Ca and B. The mean leaf levels of K (4,95 g/kg), Ca (2,02 g/kg), Mg (1,22 g/kg) and B (14,98 mg/kg), were always lower than that one showed by the plants with complete treatment and were considered inadequate for the coffee growth. The absence of these nutrients in the nutritive solution decreased the plant development, causing the morphological modifications with characteristic symptoms of nutritional deficiency of each nutrient. The deficiency symptoms identified were similar to that ones described in the literature for the coffee (*Coffea arabica* L.), except for the magnesium deficiency. The visual analysis of nutrition deficiency symptoms can be confirmed by leaf diagnosis, but, in field conditions there will be a possibility of isolate occurrence and simultaneous deficiency. The reduction in total dry mass matter of coffee was the influenced in the following order: B>(Ca+B)>K>(K+Mg)>Ca>(Ca+Mg)>Mg.

**Key words:** Coffee plant, nutritive solution, leaf nutrient level, simultaneous deficiency, visual symptoms.

---

\* Guidance Committee: Dr. Rubens José Guimarães (Adviser), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-adviser), UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, a qual abrange mais de 10.000 espécies agrupadas em 630 gêneros. Embora exista grande número de espécies de café, somente a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre têm importância econômica, pois aproximadamente 70% do café comercializado são de cafés arábicas e 30% de canéforas (Berthaud & Charrier 1988).

O Brasil é o maior produtor mundial de café, tendo a safra 2005/2006 sido de 36,1 milhões de sacas de café beneficiado (Agrianual, 2007). O parque cafeeiro brasileiro é formado por mais de 5,9 bilhões de plantas cultivadas em 2,4 milhões de hectares. A atividade envolve 300 mil cafeicultores e emprega, direta e indiretamente, 8 milhões de pessoas. Minas Gerais aparece como o maior produtor do Brasil, sendo responsável por 48,6% do café produzido (CONAB, 2007).

Dentre as dificuldades e limitações enfrentadas pelos cafeicultores para melhores produções e produtividades, ressaltam-se o ataque de pragas, as doenças, o déficit hídrico e a adubação e nutrição inadequadas das plantas.

Os elementos considerados essenciais para o crescimento das plantas são divididos em duas categorias, os macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são o carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Os micronutrientes são o boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e o zinco (Zn). Malavolta et al. (1997) mencionam ainda cobalto (Co), selênio (Se), silício (Si), sódio (Na) e níquel (Ni) entre os micronutrientes.

De acordo com Jones Junior et al. (1991), em 1804, De Saussure descobriu a essencialidade do C, O, H e N para as plantas. Ville, em 1860, descobriu a essencialidade do P. Knops e Von Sachs, em 1860, descobriram a

essencialidade de K, Ca, Mg e Fe e, em 1865, a essencialidade do S. Em 1922, a importância do Mn era determinada por McHargue. O B e o Zn foram acrescentados à lista dos elementos essenciais, em 1926, por Sommer e Lipman e o Cu, em 1931, por Sommer, Lipman e MacKinnon. Em 1939, o Mo foi determinado como essencial por Arnon e Stout e, em 1954, o Cl, por Broyer et al.

A falta ou o excesso de um nutriente para a planta é traduzida em anormalidades visíveis, típicas de cada nutriente. O motivo pelo qual o sintoma é típico está no fato de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções, em qualquer que seja a espécie de planta. Entretanto, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados: é o que se chama de fome oculta (Malavolta, 2006). Segundo o mesmo autor, o sintoma visível é o fim de uma série de eventos que têm início com alterações em âmbito molecular e finalizam com o aparecimento de sintomas visíveis.

Marschner (1995) comenta que a nutrição mineral pode influenciar o crescimento e a produção das plantas cultivadas de forma secundária, causando modificações no crescimento, na morfologia, na anatomia e na sua composição química.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento de cafeeiros e os teores foliares médios de nutrientes quando da omissão isolada ou simultânea de potássio, cálcio, magnésio e boro, bem como as manifestações de sintomas visuais de deficiência nutricional.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido de abril de 2006 a março de 2007, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (Lavras, MG). O município está geograficamente situado nas

coordenadas de 21°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste, à altitude de 910 m.

O clima regional é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen (1970), com precipitação média anual de 1.530mm e 80% das chuvas concentradas de outubro a março, enquanto a estação seca se estende de abril a setembro. A temperatura média do ar no mês mais frio (julho) é de 15,8°C, e a média do mês mais quente (fevereiro) é de 21°C (Brasil, 1992).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, representados por: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução nutritiva menos potássio, solução nutritiva menos cálcio, solução nutritiva menos magnésio, solução nutritiva menos boro, solução nutritiva menos potássio e magnésio, solução nutritiva menos cálcio e magnésio, solução nutritiva menos cálcio e boro. Cada parcela foi constituída por uma planta por vaso de 2 litros.

Foram utilizadas plantas da cultivar Topázio MG 1190, provenientes de tubetes que se encontravam com sete pares de folhas verdadeiras. As mudas foram podadas com tesoura de poda, acima do terceiro par de folhas, conforme Guimarães (1979). A condução foi feita promovendo-se a desbrota quando os brotos atingiam cerca de 2,5 cm, deixando-se apenas um broto por muda.

As mudas permaneceram na solução nutritiva completa com 30%, 60% e 100% da sua força iônica pelo período de 36 dias em cada concentração, respectivamente.

Posteriormente, as mudas foram transferidas para os vasos, nos quais foram aplicados os tratamentos. As soluções foram trocadas quinzenalmente durante os 250 dias de condução do experimento.

As medições de altura de broto/planta, diâmetro de broto/planta, área foliar e número de ramos plagiotrópicos foram realizadas na retirada das plantas de cada tratamento. A altura de broto foi medida em centímetros da inserção do

broto até a gema apical do mesmo; o diâmetro de broto foi medido em milímetros com paquímetro a 0,5 cm acima da inserção do broto e a área foliar obtida em centímetros quadrados por planta. Esse valor foi estimado a partir da metodologia proposta por Huerta (1962), que consiste em medir o comprimento e a maior largura de uma das folhas de cada par, desde que esta não possua comprimento inferior a 2,5 centímetros. Essas duas medidas são multiplicadas entre si, pela constante 0,667 e por dois, para obter-se a área foliar de cada par de folhas. Somando-se as áreas dos pares de folhas, obtém-se a área foliar de cada planta. O número de ramos plagiotrópicos foi contado na retirada das plantas.

As raízes, caules e folhas foram acondicionados separadamente em sacos de papel, devidamente etiquetados e levados para a secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60°C, até peso constante. Após a secagem, pesou-se o material em balança de precisão e o resultado foi expresso em gramas por planta. Para a determinação dos teores médios de K, Ca, Mg e B, foram utilizadas todas as folhas da planta, que foram moídas em moinho tipo Wiley e as análises feitas conforme Malavolta et al. (1989).

O efeito relativo foi calculado pelo método de percentagem de suficiência ou produção relativa (Raij, 1991), adaptado para a determinação do “crescimento relativo” (CR), segundo a fórmula:

$$CR (\%) = \frac{\text{Tratamento com nutriente omitido (g)} \times 100}{\text{Tratamento completo (g)}}$$

Os tratamentos que manifestaram os sintomas visuais de deficiência antes de completados os 250 dias de condução do experimento foram colhidos, visando reduzir perdas de material para análise.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Programa Computacional Sisvar (Ferreira, 2000). Quando verificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste Scott Knot ( $p < 0,05$ )

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Características fitotécnicas

Para as características de crescimento analisadas (Tabela 1), houve efeito significativo da omissão isolada ou simultânea dos nutrientes na solução nutritiva. Os resultados da altura, diâmetro do broto, área foliar e número de ramos plagiotrópicos das plantas de cafeeiro são apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1** Altura, diâmetro do caule, área foliar e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de cafeeiros após 250 dias da aplicação dos tratamentos. Lavras, MG, 2007.

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	NRP (n°)
Completa	31,13 a	9,75 a	227,44 a	11,25 a
- K	15,75d	6,95 c	153,17 c	6,00 c
- Ca	19,75 c	8,23 b	154,14 c	8,25 b
- Mg	23,75 b	8,08 b	184,31 b	8,50 b
- B	12,38 e	4,45 d	88,21 d	2,50 d
- (K+Mg)	19,50 c	7,18 c	157,71 c	5,50 c
- (Ca+Mg)	23,75 b	8,18 b	179,25 b	8,00 b
- (Ca+B)	10,38 e	4,25 d	84,22 d	2,50 d
C.V.(%)	9,63	4,93	11,72	17,46

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott.

Com base na análise estatística dos dados, verificou-se que a omissão dos nutrientes reduziu a altura das plantas, em comparação ao tratamento solução completa. A omissão isolada de boro e a simultânea de cálcio e boro foram as que mais comprometeram as plantas.

Em relação ao diâmetro do broto, o mesmo ocorrido para a altura foi observado, tendo as plantas cultivadas com omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro apresentado caules menos espessos. Isso parece indicar que o boro é o nutriente que mais limita o crescimento das plantas de café. A maior altura e o maior diâmetro foram observados para as plantas cultivadas na solução completa. Já as plantas cultivadas na ausência isolada de magnésio e simultânea de cálcio e magnésio foram superiores às demais e não diferiram significativamente entre si.

Menor área foliar foi encontrada nas plantas cultivadas sob omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro, tendo, novamente, o tratamento solução completa resultado em maior área foliar. De acordo com Benincasa (1988), a área foliar total de uma planta é resultado da ação conjunta de dois componentes, representados pelo tamanho e pelo número de folhas.

Como para as demais características, o número de ramos plagiotrópicos foi menor quando foi omitido boro isolado e associado ao cálcio. A omissão isolada de cálcio e magnésio, juntamente com a omissão simultânea desses nutrientes, só foi inferior ao tratamento completo, não apresentando diferenças significativas entre si.

O tratamento solução completa, ou seja, com presença de todos os nutrientes na solução nutritiva, proporcionou às plantas desempenho superior em todas as características estudadas (Tabela 1).

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para massa seca de raiz, massa seca da parte aérea, relação entre massa seca da parte aérea e raiz, massa seca total e crescimento relativo (CR) das plantas. Verifica-se também que, para massa seca de raiz, de parte aérea e total, a solução completa proporcionou melhores resultados. Para a relação parte aérea e raiz, observa-se que o maior valor obtido foi para o tratamento com omissão isolada de magnésio, e os menores quando da omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro.

Com relação ao crescimento relativo, somente a omissão isolada de magnésio e simultânea de cálcio e magnésio foram superiores a 30% do desenvolvimento das plantas da solução completa. Para a omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro os decréscimos foram os maiores, inferiores a 20%.

**TABELA 2** Massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca total, relação entre massa seca da parte aérea e raiz (PA/R) e crescimento relativo (CR) de cafeeiros após 250 dias da aplicação dos tratamentos. Lavras, MG, 2007.

Tratamento	Massa seca (g/planta)				CR* (%)
	Raiz	Parte Aérea	Total	PA/R	
Completa	9,73 a	51,96 a	61,69 a	5,34 b	100
- K	6,00 b	22,81 c	28,81 c	3,80 c	30
- Ca	5,50 c	22,09 c	27,60 c	4,02 c	45
- Mg	6,10 b	42,78 b	48,88 b	7,01 a	79
- B	4,90 b	6,35 d	11,25 e	1,30 d	18
- (K+Mg)	5,96 b	14,79 d	20,75 d	2,48 c	34
- (Ca+Mg)	6,03 b	35,28 b	41,31 b	5,02 b	59
- (Ca+B)	5,05 c	6,53 e	11,58 e	1,29 d	19
C.V. (%)	18,49	6,68	7,18	16,68	-----

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott. \* Referente à massa seca total.

Observa-se (Tabela 2) que a omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro proporcionou o maior decréscimo também na produção de massa seca da raiz e massa seca da parte aérea, o que resultou em massa seca total inferior. Com exceção da relação entre massa seca da parte aérea e massa seca

das raízes, em que os maiores valores foram observados para o tratamento com omissão isolada de magnésio, as plantas cultivadas na solução nutritiva completa apresentaram desempenho superior para todas as variáveis. Os efeitos das deficiências dos nutrientes, na produção de massa seca total, induziram a seguinte ordem de redução  $B > (Ca+B) > K > (K+Mg) > Ca > (Ca+Mg) > Mg$ , indicando que o desenvolvimento da planta, durante o período experimental, foi menos afetado pela omissão isolada de magnésio e simultânea de cálcio e magnésio.

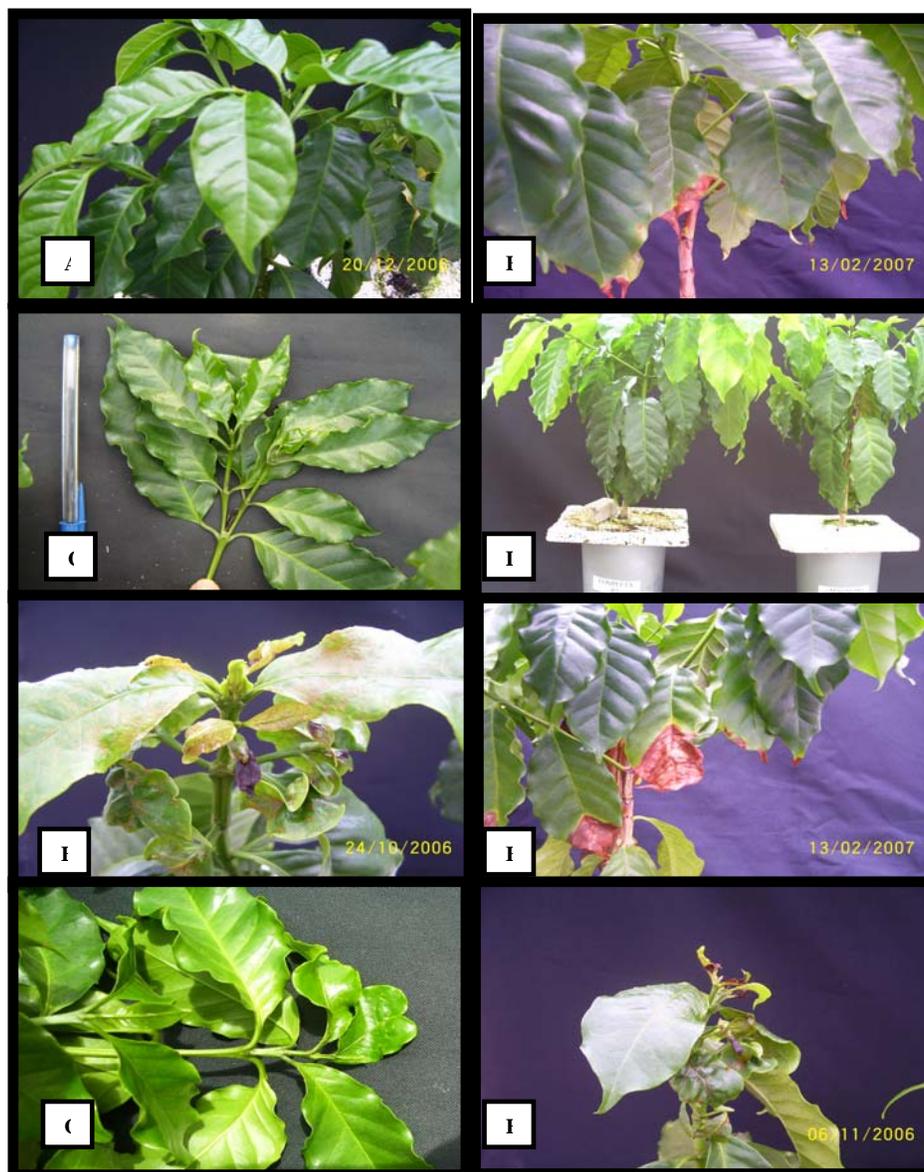
Silva et al. (1984), trabalhando com plantas de umbuzeiro, verificaram que o cálcio foi mais limitante que o potássio na produção de matéria seca total, semelhante ao que foi constatado no presente trabalho. A ordem do decréscimo de massa seca em plantas de umbuzeiro, em função da omissão de macronutrientes, foi:  $Ca > N > K > Mg > S > P$ . Nota-se que, como verificado neste trabalho para o cafeeiro, a massa seca total das plantas de umbuzeiro foi menos afetada pelo magnésio. Já para as plantas de pimenta-do-reino, Veloso & Muraoka (1993) observaram que a omissão de nitrogênio, a de cálcio e a de potássio foram as que mais afetaram o crescimento.

O crescimento relativo (CR) foi calculado em relação às plantas cultivadas na solução completa, em que a produção de matéria seca total foi maior. Nota-se que a matéria seca total produzida pelas plantas de cafeeiro cultivadas sob omissão isolada de magnésio e omissão dupla de cálcio e magnésio apresentou desempenho superior aos tratamentos onde se omitiu isoladamente ou simultaneamente outros nutrientes, sendo o crescimento relativo igual a 79% e 59%, respectivamente. Nos outros tratamentos, nos quais houve omissão isolada de potássio (30%), cálcio (45%), boro (18%) e simultânea de potássio e magnésio (34%) e cálcio e boro (19%), o desempenho das plantas foi inferior 46%, evidenciando um prejuízo maior no crescimento das plantas.

Nota-se que, para os macronutrientes, o potássio isolado ou associado ao magnésio foi o que mais limitou o crescimento das plantas, o que demonstra a alta exigência do cafeeiro por esse nutriente. Como comentado, a omissão isolada de boro e a simultânea de cálcio e boro acarretaram no maior decréscimo, inferior a 20% (Tabela 2).

Com base nos resultados, percebe-se que o cafeeiro é muito exigente em boro, pois, isolado ou associado ao cálcio, este foi o nutriente que mais limitou o crescimento das plantas. Esse fato fica mais evidenciado quando se compara o crescimento relativo (CR) destes tratamentos com os demais.

Com a diminuição da concentração dos nutrientes nas folhas, as plantas apresentaram sintomas visuais de deficiência, os quais estavam ausentes nas plantas cultivadas na solução nutritiva completa (Figura 1). A ordem cronológica de aparecimento dos sintomas foi a seguinte: B, (B+Ca), K, (K+Mg), Ca, (Ca+Mg) e Mg.



**FIGURA 1** Cafeeiros submetidos à omissão isolada e simultânea de nutrientes: (A) solução completa, (B) ausência de potássio; (C) ausência de cálcio; (D) planta do tratamento completo e com ausência de magnésio; (E) ausência de boro (F) ausência simultânea de potássio e magnésio; (G) ausência simultânea de cálcio e magnésio; (H) ausência simultânea de cálcio e boro.

### Teores foliares e deficiência de nutrientes

Houve efeito significativo da omissão isolada ou simultânea dos nutrientes na solução nutritiva sobre os teores foliares médios encontrados nas plantas de cafeeiro. Na Tabela 3 são apresentados os teores foliares médios de potássio, cálcio, magnésio e boro, aos 250 dias após a aplicação dos tratamentos.

**TABELA 3** Teores foliares médios de nutrientes em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), aos 250 dias, em função dos tratamentos. Lavras, MG, 2007.

Tratamento	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	B (mg/kg)
Completa	21,45 a	7,34 a	3,22 a	64,90 b
- K	4,95 e	7,38 a	2,74 b	85,73 a
- Ca	15,15 d	2,02 c	2,68 b	60,93 b
- Mg	16,50 c	7,59 a	1,22 d	62,98 b
- B	14,25 d	8,12 a	1,69 c	14,98 c
- (K+Mg)	4,20 e	7,32 a	1,32 d	74,17 a
- (Ca+Mg)	18,75 b	2,35 c	1,92 c	80,01 a
- (Ca+B)	13,95 d	4,63 b	1,95 c	13,62 c
C.V. (%)	8,58	8,89	9,19	14,25

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott.

**Teor e deficiência de potássio** - O teor foliar médio de potássio encontrado nas plantas cultivadas na ausência deste nutriente foi de 4,95 g/kg, 23,1% do teor verificado quando todos os nutrientes foram disponibilizados na solução nutritiva, que foi de 21,45 g/kg (Tabela 3). Trabalhando com mudas de saquinho e tubetes, Gontijo (2004) e Gonçalves (2005) estabeleceram o teor ideal de potássio entre 25,70 e 27,80 g/kg e 22,60 e 26,20 g/kg, respectivamente. Para

cafeeiros em produção, Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985) estabeleceram suas faixas entre 18,00 e 26,00 g/kg no 3º ou 4º pares de folhas. Observou-se, a partir de 160 dias, clorose e, depois, necrose das margens e pontas das folhas, inicialmente das mais velhas. Primeiramente, as folhas amarelecem, a seguir tornam-se marrons e, finalmente, secam (Figura 1B). Para Epstein (1972) e Malavolta (1980), a necrose decorreu da possibilidade de ter ocorrido um acúmulo de putrescina (tetrametileno diamina), cuja síntese é desencadeada pela falta de potássio. As plantas desse tratamento foram colhidas aos 201 dias.

**Teor e deficiência de cálcio** - Verifica-se (Tabela 3) que teor foliar médio de cálcio, quando este não foi adicionado à solução, foi de 2,02 g/kg, 27,5% em relação ao tratamento completo, que apresentou teor de 7,34 g/kg (Tabela 3). Esse resultado corrobora os trabalhos de Gontijo (2004) e Gonçalves (2005), com mudas de cafeeiros, que estabeleceram como faixa ideal teores entre 6,90 e 7,70 g/kg. Para cafeeiros em produção, o resultado é bem próximo à faixa mínima apresentada por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985), que fica entre 7,50 e 25,00 g/kg no 3º ou 4º pares de folhas. Os sintomas de deficiência foram observados aos 205 dias, nos tecidos mais jovens e nas folhas próximas do ápice vegetativo. Ocorreu um crescimento não uniforme da folha, do qual resultaram formas tortas; notou-se, principalmente, a morte de pontos de crescimento e gemas apicais (Figura 1C). Para Marschner (1995), o cálcio afeta a atividade de hormônios e de enzimas, como os que regulam a senescência e abscisão das folhas. As pontas das raízes apresentaram coloração escura e aumento de espessura. As plantas foram retiradas aos 240 dias após a aplicação dos tratamentos.

**Teor e deficiência de magnésio** - O teor foliar de magnésio foi 1,22 g/kg, 38% dos 3,22 g/kg encontrado quando não houve omissão desse nutriente (Tabela 3). O teor encontrado no tratamento completo ficou abaixo tanto nos trabalhos de Gontijo (2004) e Gonçalves (2005) trabalhando com mudas que foi de 11,00 e 12,00 g/kg e bem inferiores às faixas estabelecidas por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993), Wilson (1985) que fica entre 25,00 e 50,00 g/kg no 3º ou 4º pares de folhas. Os primeiros sintomas foram revelados aos 210 dias. Ocorreu clorose geral nas folhas mais velhas não apresentando clorose marginal e internerval como descrito na literatura; a planta apresentou ainda inibição do crescimento (Figura 1D). A retirada das plantas ocorreu aos 240 dias com as folhas se desprendendo da planta facilmente.

**Teor e deficiência de boro** - Nota-se que o teor foliar médio de boro foi de 14,98 mg/kg, 23,1% do que foi encontrado quando o boro estava disponível para a planta, que foi 64,90 mg/kg (Tabela 3). Observa-se que, nos tratamentos com omissão isolada de potássio e simultâneas de potássio com magnésio e de cálcio com magnésio, foram verificados os maiores teores foliares médios de boro, superando, inclusive, o tratamento solução completa, o que pode ser explicado pelo efeito de concentração desse nutriente na matéria seca das folhas. O teor de boro encontrado ficou acima da faixa estabelecida por Gontijo (2004) e por Gonçalves (2005), em mudas, entre 37,53 e 48,93 mg/kg e no intervalo da faixa estabelecida por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985), entre 40,00 e 100,00 mg/kg, no 3º ou 4º pares de folhas. Os sintomas de deficiências começaram a aparecer nitidamente a partir do 30º dia do início do tratamento, tendo as plantas sido colhidas aos 104 dias. A deficiência foi observada nas folhas mais jovens, que se apresentaram pequenas, com clorose irregular, deformadas, mais grossas e quebradiças. A omissão de B induziu, ainda, o 'secamento' e a morte dos pontos vegetativos

apicais, tendo a regeneração a partir de gemas axilares formado galhos em leque na parte do ramo principal (Figura 1E).

**Teor e deficiência simultânea de potássio e magnésio** - Os teores foliares de potássio e magnésio encontrados quando houve omissão simultânea destes na solução nutritiva foram de 4,20 (19,9%) e 1,32 (49,3%) g/kg, respectivamente. Verifica-se (Tabela 3) que o teor de potássio foi significativamente igual ao encontrado para o tratamento em que se omitiu potássio isoladamente. Já o teor foliar de magnésio foi bem próximo de 1,32 g/kg, que foi encontrado na omissão isolada deste nutriente. Quando da omissão simultânea de potássio e magnésio, os sintomas observados foram os da deficiência de potássio, o que pode estar relacionado à alta exigência do cafeeiro por este nutriente. Segundo Malavolta (1986), o potássio desempenha papel dominante na nutrição de cafeeiros. Os sintomas visuais foram a clorose e, depois, a necrose das margens e das pontas das folhas mais velhas (Figura 1F). As plantas desse tratamento foram colhidas aos 201 dias após a aplicação dos tratamentos.

**Teor e deficiência simultânea de cálcio e magnésio** - O teor foliar médio de cálcio foi de 2,35 g/kg e o de magnésio foi de 1,92 g/kg, 32% e 71,6%, em relação aos 7,34 e 2,68 g/kg das plantas do tratamento completo. O teor de cálcio encontrado foi estatisticamente igual ao verificado quando se omitiu esse nutriente isoladamente. O teor de magnésio verificado neste tratamento foi ainda inferior aos do tratamento com omissão isolada desse nutriente (Tabela 3). Quando da omissão simultânea de cálcio e magnésio, os principais sintomas observados foram os da deficiência de cálcio, verificadas aos 200 dias após a aplicação dos tratamentos. Ocorreram, inicialmente, deformações nas folhas novas com posterior morte de pontos de crescimento e gemas apicais (Figura 1G). Como observado para o tratamento com omissão isolada de cálcio, as

pontas das raízes apresentaram coloração escura, eram grossas e em pequeno volume. O registro dos baixos teores foliares de cálcio e de magnésio no tratamento com omissão desses dois nutrientes demonstra ter ocorrido carência conjugada desses dois nutrientes, apesar de os sintomas da deficiência de magnésio não serem evidentes. As plantas desse tratamento foram retiradas aos 240 dias após a aplicação dos tratamentos.

**Teor e deficiência simultânea de cálcio e boro** - As plantas cultivadas na ausência simultânea de cálcio e boro apresentaram teor foliar médio de cálcio de 4,63 g/kg e de boro, 13,62 mg/kg, 63% e 21% em relação aos teores das plantas cultivadas com todos os nutrientes, que foram de 7,34 e 64,9 mg/kg, respectivamente (Tabela 3). Os primeiros sintomas visuais apresentados foram os de deficiência de boro, com as folhas mais jovens pequenas e deformadas. Houve, ainda, morte dos pontos vegetativos e secamento dos ramos, de maneira descendente (*dieback*), o que pode ser atribuído também à falta de cálcio (Figura 1H). Esses sintomas começaram a aparecer a partir do 25º dia do início do tratamento, tendo as plantas sido colhidas aos 104 dias. Os teores de cálcio e boro encontrados nas plantas deste tratamento demonstram haver uma carência conjugada destes, embora os sintomas de deficiência sejam característicos da falta de B. Para Marschner (1995), a interação cálcio e boro deve estar alicerçada no fato de ambos exercerem uma função estrutural das membranas e parede celular.

## 4 CONCLUSÕES

1- A omissão de K, Ca, Mg e B na solução nutritiva, isolada ou simultaneamente, resulta em alterações morfológicas, detectadas por sintomas visuais de carências nutricionais característicos de cada nutriente.

2- Os teores foliares médios de K (4,95 g/kg), Ca (2,02 g/kg), Mg (1,22 g/kg) e B (14,98 mg/kg) são insuficientes para o crescimento do cafeeiro.

3- Com exceção do magnésio, os sintomas de deficiências foram coincidentes com os descritos na literatura para o cafeeiro.

4- A redução na matéria seca total das plantas de cafeeiro foi influenciada na seguinte ordem: B>(Ca+B)>K>(K+Mg)>Ca>(Ca+Mg)>Mg.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2007. Anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2007.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1988. 41 p.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of *Coffea*. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1988. v. 4, p. 1-42.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas - 1960-1991**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação/Departamento Nacional de Meteorologia, 1992.

CONAB. **1º levantamento safra 2006-07**. 2007. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safra/1ºLevantamento-Safra2006-07.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2007.

EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. New York: J. Willey, 1972. 412 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

GONÇALVES, M. S. **Faixas críticas de teores foliares de nutrientes em mudas de cafeeiro (Coffea arábica L.) produzidas em tubetes.** 2005. 82p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GONTIJO, R. A. N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em mudas de cafeeiro (Coffea arábica L.).** 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, P. M. Altura de poda de mudas “passadas” de café em viveiros e seu comportamento no campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 7., 1979, Araxá. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1979. p. 89-91

HOAGLAND, D. R.; ARNO, D. I. **The water culture method of growing plants without soil.** Berkeley: University of California/College of Agriculture/Agricultural Experiment Station, 1950. 32p. (Circular, 347).

HUERTA, S. A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo, para medir el área foliar del café. **Cenicafé**, Caldas, v. 13, n. 1, p. 33-42, ene./mar. 1962.

JONES JUNIOR, B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide.** Georgia-USA: Micro-Macro, 1991. 213 p.

KOPPEN, W. **“Roteiro para classificação climática”.** s. d., ed., 1970. 6p (não publicado, mimeografado).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 44-79, 104-218.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: SIMPOSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEIRO, 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. p. 64-126.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVIERA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2<sup>nd</sup> ed. London/San Diego: Academic, 1995. 889p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343p.

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: Globo Rural, 1997. 139 p.

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

SILVA, H.; SILVA, A.Q. da.; ROQUE, M. L.; MALAVOLTA, E. Composição mineral do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7., 1983, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBF/Empase, 1984. v. 4, p. 1129-1134.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T. Diagnostico de sintomas de deficiencias de macronutrientes em pimenteira do reino (*Piper nigrum* L.). **Scientia Agrícola**, v. 50, p. 232-236, 1993.

WILSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFORD, N. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. Croom Helm, 1985. Part 6, p. 135-156.

## ARTIGO 2

### **DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL, CRESCIMENTO E TEOR FOLIAR DE NUTRIENTES EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) DECORRENTE DA OMISSÃO ISOLADA E SIMULTÂNEA DE Ca, B, Cu e Zn.**

**Roger Alexandre Nogueira Gontijo<sup>1</sup>, Rubens José Guimarães<sup>1</sup>, Janice Guedes de Carvalho<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> Departamento de Agricultura (DAG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000  
e-mail: roger@ufla.br, rubensjg@ufla.br, janicegc@ufla.br

<sup>2</sup> Departamento de Ciências do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000.

(Preparado de acordo com as normas da Revista Coffee Science)

## RESUMO

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira Gontijo. **Deficiência nutricional, crescimento e teor foliar de nutrientes em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) decorrente da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn.** 2007. p. 22-40. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.\*

Conduzido em casa de vegetação, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn no crescimento, na concentração foliar de nutrientes, bem como na manifestação de sintomas visuais de deficiência em plantas de cafeeiro. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, sendo: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução com omissão individual de B, Cu e Zn e omissão dupla simultânea de B e Ca, B e Zn e Cu e Zn. A omissão dos nutrientes na solução nutritiva promoveu redução de sua concentração nas folhas, independente de estar isolado ou associado a outro. A análise foliar revelou que, nos tratamentos com omissão de nutrientes, independente do nutriente omitido, os teores médios de Ca (2,02 g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) e Zn (3,15 mg/kg) foram sempre inferiores aos verificados nas plantas do tratamento completo. A ausência isolada ou simultânea comprometeu o desenvolvimento das plantas, levando a modificações morfológicas com sintomas característicos de deficiência. Os sintomas simultâneos de deficiência foram, inicialmente, característicos de cada elemento. A redução na matéria seca total das plantas de cafeeiro foi influenciada na seguinte ordem: B>(Ca +B)>(B+Zn)>(Cu+Zn)>Cu>Zn>Ca.

**Palavras chave:** Cafeeiro, solução nutritiva, teor foliar, deficiência simultânea, sintoma visual.

---

\* Comitê orientador: Dr. Rubens José Guimarães (Orientador), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora), UFLA.

## ABSTRACT

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira. **Nutritional deficiency, growth and nutrient leaf level in coffee (*Coffea arabica* L.), from isolated and simultaneous omission of Ca, B, Cu e Zn.** 2007. p. 22-40. Thesis (Doctorate in Crop Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.\*

Realized in greenhouse, the present research aimed to evaluate the effect of isolated and simultaneous omission of Ca, B, Cu and Zn on growth, leaf nutrient concentration level, as well as the manifestation of deficiency visual symptoms from coffee plants. The experimental design was fully randomized with four replicates and eight treatments, as mentioned above: complete nutritive solution (Hoagland & Arnon, 1950), solution with individual omission of Ca, B, Cu and Zn and double omission simultaneous of Ca and B, Cu and Zn and B and Zn. The omission of nutrient in the nutritive solution caused a reduction in leaf concentration, independent to be isolated or associated with another. The leaf analysis showed in the treatments with nutrient omission, independent of omitted nutrient, the leaf level of Ca (2,02 g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) and Zn (3,15 mg/kg), , was always lower than the verified for plants with full treatments. The isolated and simultaneous absence reduced the plant development, causing morphological modifications with characteristics symptoms of deficiency. The simultaneous symptoms of deficiency were initially characteristic for leaf nutrient. The reduction in total dry matter of coffee was influenced in the following order: B>(Ca +B)>(B+Zn)>(Cu+Zn)>Cu>Zn>Ca.

**Key words:** Coffee plant, nutritive solution, leaf level, simultaneous deficiency, visual symptom.

---

\* Guidance Committee: Dr. Rubens José Guimarães (Adviser), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-adviser), UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A produtividade de espécies arbóreas com alto potencial de crescimento é, frequentemente, limitada por restrições nutricionais e hídricas, tornando imprescindível, para o sucesso da implantação dessas espécies em solos marginais, o conhecimento dos seus requerimentos nutricionais (Sanginga et al., 1991).

Para Faquim (2001), a quantidade de nutrientes exigida pelas plantas é função dos teores no material vegetal e do total de matéria seca produzida. Como a concentração e a produção variam muito, as exigências nutricionais também o fazem.

A falta ou o excesso de um nutriente para a planta traduzem-se em anormalidades visíveis, típicas de cada nutriente. O motivo pelo qual o sintoma é típico é o de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie de planta. Tais sintomas que aparecem nas folhas, caules e raízes podem ser de grande ajuda para se determinar o estado nutricional do vegetal.

A diagnose visual consiste em comparar o aspecto da amostra com o do padrão. Na maior parte dos casos, compara-se o de um órgão, geralmente a folha, dependendo do elemento (Carvalho et al., 2001; Malavolta et al., 1997). Entretanto, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados: é o que se chama de fome oculta, que somente poderá ser detectada por meio de análise química do material vegetal ou diagnose foliar (Malavolta, 2006).

Para Fontes (2001), por meio de procedimentos diretos ou indiretos é possível determinar o estado nutricional das plantas. Os procedimentos diretos são aqueles em que as concentrações aparentes (análise visual) e ou reais

(análise da matéria seca ou da seiva) dos nutrientes são determinadas. Os indiretos são aqueles em que a concentração de determinado nutriente na planta é estimada por meio de uma característica cujos valores sejam correlacionados com as concentrações do nutriente na planta.

Segundo Raij (1991), embora a necessidade da planta em macronutrientes seja maior do que a de micronutrientes, no estudo de nutrição mineral de plantas é necessário considerar os nutrientes como um todo. Isso porque, no processo de absorção, um pode exercer influência sobre o outro, dadas as possíveis interações que podem ocorrer, alterando, dessa forma, a composição mineral das folhas.

De acordo com Salvador et al. (1999), são necessárias observações detalhadas de todas as anormalidades visíveis apresentadas pelas plantas, numa tentativa de levá-la a interagir com outros parâmetros importantes, como a diagnose foliar e análise de solo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento, o teor foliar de nutrientes, bem como a sintomatologia de deficiências nutricionais isoladas e simultâneas de Ca, B, Cu e Zn, em plantas de cafeeiro.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado, de abril de 2006 a março de 2007, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (Lavras, MG), situada geograficamente nas coordenadas de 21°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste, à altitude de 910 m.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, representados por: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução nutritiva menos cálcio, solução nutritiva menos boro, solução nutritiva menos cobre, solução nutritiva menos zinco, solução nutritiva menos cálcio e boro, solução nutritiva menos boro e zinco e

solução nutritiva menos cobre e zinco. Cada parcela foi constituída por uma planta por vaso de 2 litros.

Foram utilizadas plantas de cafeeiro cultivar Topázio MG 1190, provenientes de tubetes que se encontravam com sete pares de folhas verdadeiras. As mudas foram podadas com tesoura de poda, acima do terceiro par de folhas, conforme Guimarães (1979). A condução das mudas foi feita promovendo-se a desbrota quando os brotos atingiam 2,5 cm, deixando-se apenas um broto por muda.

As mudas permaneceram na solução nutritiva completa com 25%, 50% e 100% da sua força iônica pelo período de 36 dias em cada concentração, respectivamente. Nesta etapa, a solução era trocada a cada 18 dias.

Posteriormente, as mudas foram transferidas para os vasos onde foram aplicados os tratamentos. As soluções foram trocadas quinzenalmente, durante os 250 dias de condução do experimento.

As medições de altura de broto/planta, diâmetro de broto/planta e área foliar foram realizadas na retirada de cada tratamento. A altura de broto foi medida, em centímetros, da inserção do broto até a gema apical do mesmo; o diâmetro de broto medido em milímetros, com paquímetro, a 0,5 cm acima da inserção do broto; o número de ramos plagiotrópicos foi contado na retirada das plantas e a área foliar obtida em centímetros quadrados por muda. Esse valor foi estimado a partir da metodologia proposta por Huerta (1962), que consiste em medir o comprimento e a maior largura de uma das folhas de cada par, desde que esta não possua comprimento inferior a 2,5 centímetros. Essas duas medidas são multiplicadas entre si, pela constante 0,667 e por dois, para obter-se a área foliar de cada par de folhas. Somando-se as áreas dos pares de folhas obtém-se a área foliar de cada planta.

As raízes, os caules e as folhas foram acondicionados separadamente em sacos de papel, devidamente etiquetados e levados para a secagem em estufa de

circulação forçada de ar, à temperatura de 60°C, até peso constante. Após a secagem, pesou-se o material em balança de precisão e o resultado foi expresso em gramas por planta. Para determinação dos teores médios de Ca, B, Cu, e Zn, foram utilizadas todas as folhas das mudas, que foram moídas em moinho tipo Wiley e as análises feitas conforme Malavolta et al. (1989).

O efeito relativo foi calculado pelo método de porcentagem de suficiência ou produção relativa (Raij, 1991), adaptado para a determinação do “crescimento relativo” (CR), segundo a fórmula:

$$\text{CR (\%)} = \frac{\text{Tratamento com nutriente omitido (g)} \times 100}{\text{Tratamento completo (g)}}$$

Os tratamentos que manifestaram os sintomas visuais de deficiência antes de completados os 240 dias de condução do experimento foram colhidos, visando reduzir perdas de material para análise.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Programa Computacional Sisvar (Ferreira, 2000). Quando verificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste Scott Knot ( $p < 0,05$ )

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **Efeitos no crescimento**

Houve efeito significativo da omissão isolada ou simultânea de cálcio, boro, cobre e zinco, nos resultados de altura e diâmetro do broto, área foliar e número de ramos plagiotrópicos (NRP) das plantas de café (Tabela 1). Verifica-se, pela análise estatística dos dados, que a omissão dos nutrientes na solução nutritiva reduziu a altura das plantas, tendo o tratamento composto pela solução completa proporcionado melhor desempenho quando comparado aos demais. As omissões isoladas de boro e simultânea de boro e cálcio e de boro e zinco apresentaram menores alturas.

**TABELA 1** Altura do broto, diâmetro do broto, área foliar e número de ramos plagiotrópicos de cafeeiros após 250 dias da aplicação dos tratamentos. Lavras, MG, 2007.

Tratamento	Altura (cm <sup>2</sup> )	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	NRP (n <sup>o</sup> )
Completa	31,13 a	9,25 a	227,44 a	11,25 a
- Ca	19,75 b	8,23 b	154,14 b	8,25 b
- B	10,52 d	4,45 d	88,21 d	2,50 d
- Cu	13,00 c	5,45 c	120,15 c	5,00 c
- Zn	19,10 b	5,70 c	122,41 c	6,00 c
- (Ca+B)	10,38 d	4,25 d	84,22 d	2,50 d
- (B + Zn)	10,08 d	4,50 d	88,13 d	3,50 d
- (Cu + Zn)	14,00 c	5,38 c	123,52 c	5,50 c
C.V. (%)	13,22	6,52	10,64	17,40

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott.

O diâmetro do broto das plantas cultivadas com omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro e de boro e zinco apresentaram caules menos espessos. Isso parece indicar que a omissão de boro foi um fator limitante ao crescimento do caule.

Para área foliar, os piores resultados também foram encontrados nos tratamentos sem boro isoladamente e associado ao cálcio e ao zinco. As plantas cultivadas na solução nutritiva completa foram superiores às demais, sendo que as cultivadas sob a omissão isolada de cálcio tiveram o menor comprometimento de área foliar.

Resultado semelhante também ocorreu para número de ramos plagiotrópicos, tendo os menores números sido verificados quando houve ausência isolada de boro e simultânea de cálcio e boro e de boro e zinco. Isso

demonstra que o boro, isolado ou associado a outro nutriente, foi o que mais comprometeu o surgimento de ramos plagiotrópicos. Como observado para as demais características analisadas (Tabela 1), o número de ramos plagiotrópicos das plantas cultivadas na solução nutritiva completa foi superior.

As massas secas de raiz, caule, parte aérea e total, bem como o crescimento relativo, foram significativamente influenciadas pela ausência dos nutrientes na solução nutritiva (Tabela 2). A omissão isolada de boro e a simultânea de cálcio e boro e de boro e zinco resultaram em massa seca da raiz, parte aérea e total inferiores, não apresentando diferença significativa entre si. Parece que, nessa fase, o cafeeiro apresenta maior exigência de B em relação aos demais nutrientes estudados.

**TABELA 2** Massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca total, relação entre massa seca da parte aérea e raiz (PA/R) e crescimento relativo (CR) de cafeeiros após 250 dias da aplicação dos tratamentos. Lavras, MG, 2007.

Tratamento	Massa seca (g/planta)				CR*(%)
	Raiz	Parte aérea	Total	PA/R	
Completa	9,73 a	51,96 a	61,69 a	5,34 a	100
- Ca	5,50 b	22,09 b	27,60 b	4,02 b	45
- B	4,90 b	6,35 d	11,25 d	1,30 d	18
- Cu	5,09 b	11,98 c	17,07c	2,35 c	25
- Zn	4,99 b	12,14 c	17,13 c	2,43 c	25
- (Ca+B)	5,05 b	6,53 d	11,58 d	1,29 d	19
- (B + Zn)	4,91 b	6,40 d	11,31 d	1,30 d	18
- (Cu + Zn)	5,18 b	11,88 c	17,06 c	2,30 c	25
C.V. (%)	19,14	10,38	10,88	10,38	----

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott. \* Referente à matéria seca total.

Nota-se que as plantas cultivadas na solução completa resultaram também em maior massa seca da raiz, da parte aérea e, conseqüentemente, em maior massa seca total (Tabela 2). Para massa seca da raiz os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si. Já para massa seca da parte aérea, massa seca total e para a relação massa seca parte aérea e raiz, a ausência de cálcio foi a que menos comprometeu. Mais uma vez, a ausência de boro isolado e associado ao cálcio e ao zinco proporcionou os piores desempenhos. Os demais tratamentos proporcionaram desempenho semelhante e não diferiram estatisticamente entre si.

Os efeitos da ausência dos nutrientes na solução nutritiva na produção de massa seca total induziram a seguinte ordem de redução:  $B > (Ca+B) > (B+Zn) > Cu > Zn > (Cu+Zn) > Ca$ , indicando que o desenvolvimento da planta, durante o período experimental, foi menos afetado pela omissão de Ca e mais afetado pela omissão de B. Neves et al. (2004), estudando mudas de umbuzeiro, verificaram que o B foi também mais limitante no desenvolvimento que quando foram omitidos Cu e Zn, isoladamente e simultaneamente. A ordem crescente para os nutrientes que mais afetaram o desenvolvimento de mudas de umbuzeiro foi:  $Fe > B > Zn > Zn+Cu > Mn$ . Já Salvador et al. (1999), trabalhando com mudas de goiabeira cultivadas em solução nutritiva, verificaram que a omissão do micronutriente cobre foi mais prejudicial que a de boro, tendo a ordem de decréscimo no desenvolvimento sido a seguinte:  $Fe > Cu > B > Zn > Mn$ .

O crescimento relativo (CR) foi calculado em relação aos resultados apresentados pelas plantas cultivadas na solução completa, em que a produção de matéria seca total foi maior. Isso permitiu verificar que o total de matéria seca produzida pelas plantas de cafeeiro cultivadas na ausência isolada de boro e simultânea de cálcio e boro e zinco e boro foi inferior a 20%. As plantas com deficiência isolada e simultânea de cobre e zinco apresentaram crescimento relativo (CR) de 25%. Para a omissão isolada de cálcio, o resultado foi de 45%.

### **Deficiências nutricionais e teores foliares de Ca, B, Cu e Zn.**

As plantas que se desenvolveram nas soluções nutritivas em que houve a omissão isolada ou simultânea de nutrientes apresentaram sintomas visuais de deficiências, ausentes no tratamento completo (Figura 1). A ordem cronológica de aparecimento desses sintomas foi a seguinte: B, B+Zn, Ca+B, Cu, Cu+Zn, Zn e Ca. As deficiências nutricionais isoladas ou simultâneas foram confirmadas avaliando-se o teor foliar médio dos nutrientes nas plantas de cada tratamento.



**FIGURA 1** Cafeeiros submetidos à omissão isolada e simultânea de nutrientes: (A) solução completa (B) ausência de cálcio; (C) ausência de boro; (D) planta do tratamento completo e com ausência de cobre; (E) ausência de zinco; (F) ausência simultânea de cálcio e boro; (G) planta do tratamento completo e com ausência simultânea de cobre e zinco.; (H) planta do tratamento completo e com ausência simultânea de boro e zinco. Lavras, MG, 2007.

A concentração dos nutrientes nas folhas foi influenciada significativamente pela ausência isolada e simultânea dos nutrientes na solução. Os resultados da omissão individual e simultânea de cada nutriente sobre os teores médios de cálcio, boro, cobre e zinco encontram-se na Tabela 3.

Nota-se que toda omissão, isolada ou simultânea, resultou em redução nas concentrações dos nutrientes nas folhas, quando comparadas às plantas cultivadas na solução nutritiva completa.

**TABELA 3** Teores foliares médios de Ca, B, Cu e Zn em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), aos 250 dias em função dos tratamento. Lavras, MG, 2007.

Tratamento	Ca (g/kg)	B (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Completa	7,34 a	64,90 b	2,31 a	5,31 a
- Ca	2,02 c	85,93 a	1,79 b	4,49 a
- B	8,12 a	14,98 c	2,31 a	4,47 a
- Cu	8,98 b	64,38 b	0,91 b	4,83 a
- Zn	8,37 b	70,31 a	1,60 b	3,15 b
- Ca + B	4,63 d	13,62 c	1,74 b	4,71 a
- B + Zn	8,25 b	16,20 c	2,49 a	3,64 b
- Cu + Zn	10,4 a	77,94 a	1,37 b	3,86 b
C.V. (%)	8,89	14,25	29,57	11,73

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott.

**Deficiência e teor foliar de cálcio** - Os sintomas de deficiência foram observados aos 205 dias nos tecidos mais jovens e nas folhas próximas do ápice vegetativo. Ocorreu um crescimento não uniforme da folha, do qual resultaram formas tortas; notou-se, principalmente, a morte de pontos de crescimento e das gemas apicais (Figura 1B). As plantas desse tratamento foram retiradas aos 241

dias após a aplicação dos tratamentos. Quando houve omissão de cálcio, o teor foliar médio desse nutriente foi 2,02 g/kg, 27,5% em relação ao tratamento completo, em que o teor encontrado foi 7,34 g/kg (Tabela 3). O teor verificado no tratamento completo corrobora os trabalhos de Gontijo (2004) e de Gonçalves (2005), com mudas de cafeeiros, que estabelecem como faixa ideal teores entre 6,90 e 7,70 g/kg. Para cafeeiros em produção, o resultado obtido é bem próximo do limite inferior da faixa apresentada por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985) que fica entre 7,50 e 25,00 g/kg, no 3º ou no 4º par de folhas.

**Deficiência e teor foliar de boro** – Os sintomas de deficiências começaram a aparecer nitidamente a partir do 30º dia do início do tratamento, tendo as plantas sido colhidas aos 104 dias. A deficiência foi observada nas folhas mais jovens, que se apresentaram pequenas, com clorose irregular, deformadas, mais espessas e quebradiças. A omissão de boro induziu, ainda, o secamento e a morte dos pontos vegetativos apicais, em que a regeneração a partir de gemas axilares formou galhos em leque na parte do ramo principal (Figura 1C). Nos tratamentos com omissão isolada de cálcio e zinco e simultânea de cobre com zinco, foram observados os maiores teores médios de boro nas folhas, possivelmente decorrente do efeito de concentração desse nutriente na matéria seca das folhas. O teor de boro para este tratamento foi de 14,98 mg/kg, 23,1% do teor encontrado quando todos os nutrientes foram adicionados à solução que foi 64,9 mg/kg (Tabela 3). Esse teor encontra-se acima dos 37,53 e 48,93 mg/kg verificados para mudas de cafeeiros por Gontijo (2004) e Gonçalves (2005), e dentro da faixa estabelecida para cafeeiros em produção por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985), que fica entre 40,00 e 100,00 mg/kg, no 3º ou no 4º par de folhas.

**Deficiência e teor foliar de cobre** – Aos 110 dias após o início do tratamento, foram observados os primeiros sintomas de deficiência de cobre e, aos 148 dias, as plantas foram colhidas. Ocorreu, inicialmente, a clorose das folhas mais novas e, posteriormente, os limbos foliares passaram a mostrar alterações morfológicas com as folhas encurvando-se e posicionando-se verticalmente, o que é comumente denominado de “orelha-de-zebu”. Foi observada também a inibição no crescimento das plantas (Figura 1D). Verifica-se, pela Tabela 3, que na omissão de cobre o teor foliar foi de 0,91 mg/kg, que representa 39% dos 2,31 mg/kg encontrados nas plantas da solução completa. O teor de 2,31 mg/kg ficou abaixo da faixa estabelecida por Gontijo (2004), que foi de 6,94 a 9,29 para mudas de cafeeiro em saquinhos. No entanto, para mudas em tubetes, o teor verificado encontra-se acima da faixa de 1,31 a 1,75 mg/kg encontrado por Gonçalves (2005). Teores, no 3º ou no 4º par de folhas de cafeeiros em produção, entre 7 e 50 mg/kg, são considerados ideais por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985).

**Deficiência e teor foliar de zinco** - Nas plantas cultivadas na ausência de zinco, as alterações morfológicas surgiram aos 115 dias após o início do tratamento, de forma mais pronunciada nas folhas mais jovens. Os principais sintomas observados foram a produção de folhas pequenas e estreitas, algumas vezes retorcidas e a formação de ramos com internódios curtos, dando o aspecto de “roseta” (Figura 1E). As plantas desse tratamento foram retiradas aos 148 dias após a aplicação dos tratamentos. Notou-se (Tabela 3) que o teor médio de zinco foi de 3,15 mg/kg, ou seja, 59,32% do teor verificado para as plantas da solução completa (5,31 mg/kg). Esse teor é superior à faixa de 3,68 e 4,08 mg/kg para mudas em saquinhos e inferior à faixa de 12,08 a 15,54 mg/kg, encontrada por Gonçalves (2005) para mudas em tubetes. A faixa adequada estabelecida para

plantas em produção por Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones (1996), Malavolta (1993) e Wilson (1985) situa-se entre 8 e 30 mg/kg.

**Deficiência simultânea e teor foliar de cálcio e boro** - Os sintomas visuais observados, inicialmente, parecem ser causados pela deficiência de boro levando à ocorrência de folhas mais jovens pequenas e deformadas. Posteriormente, ocorreu a morte dos pontos vegetativos e o secamento dos ramos de maneira descendente (*dieback*), o que pode ser atribuído também à falta de Ca. Esses sintomas começaram a aparecer a partir do 28º dia do início do tratamento, sendo as plantas colhidas aos 104 dias. Embora os sintomas sejam inicialmente identificados como o da omissão isolada de boro, a redução nos teores foliares médios de cálcio e boro demonstra haver carência conjugada desses dois nutrientes (Figura 1F). Para Marschner (1995), a existência da interação entre cálcio e boro deve estar alicerçada no fato de ambos exercerem uma função estrutural das membranas e da parede celular. O teor foliar médio de cálcio foi de 4,63 g/kg e o de boro de 13,62 mg/kg, 63% e 21% em relação aos teores do tratamento completo (Tabela 3).

**Deficiência simultânea e teor foliar de cobre e zinco** - Nos tratamentos em que não se adicionaram cobre e zinco simultaneamente, os primeiros sintomas foram observados a partir de 110 dias. Os sintomas manifestados foram da deficiência de zinco, nos quais os limbos foliares apresentaram, além da formação de folhas pequenas e próximas entre si, a formação de ramos com internódios curtos (Figura 1 G). Esse tratamento foi coletado aos 148 dias de condução do experimento. Quando da omissão simultânea de cobre e zinco, os teores foliares verificados foram de 1,37 (76,5%) e 3,86 (72,7%), enquanto que o tratamento completo apresentou teores de 2,31 e 5,31 mg/kg, respectivamente.

**Deficiência simultânea e teor foliar de boro e zinco** - Como ocorrido com a omissão de boro associada ao cálcio, os sintomas iniciais foram os mesmos verificados para a deficiência de boro. As folhas mais jovens apresentaram formato irregular e eram pequenas, mais espessas e quebradiças. Ocorreram também o secamento e a morte dos pontos vegetativos apicais, em que a regeneração a partir de gemas axilares formou galhos em leque na parte do ramo principal, sintoma também característico da deficiência de zinco (Figura 1H). Os sintomas foram observados aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, tendo as plantas sido retiradas aos 104 dias. O teor foliar médio encontrado quando se omitiu esses dois nutrientes foi de 16,20 mg/kg para o boro e 3,64 mg/kg para o zinco, o que corresponde a 25% e 69% dos teores verificados para o tratamento completo, que foram de 64,9 e 5,31 mg/kg, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

1- A ausência isolada ou simultânea de Ca, B, Cu e Zn, na solução nutritiva, comprometeram o desenvolvimento das plantas, levando a alterações morfológicas, com sintomas característicos de deficiência nutricional.

2- Os sintomas simultâneos de deficiência foram, inicialmente, característicos de cada nutriente, tendo a ausência dos nutrientes na solução, independente de estarem isolados ou associados a outro, promovido a redução de sua concentração na folha.

3 - A redução na matéria seca total das plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) foi influenciada na seguinte ordem: B>Ca +B>B+Zn>Cu+Zn>Cu>Zn>Ca.

4- Os teores foliares médios de Ca (2,02 g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) e Zn (3,15 g/kg) são insuficientes para o crescimento do cafeeiro.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, J. G. de.; LOPES, A. S.; BRASIL, E.; JÚNIOR, R. A. R. **Diagnose da fertilidade do solo e do estado nutricional de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 95 p.
- FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 182p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 122 p.
- GONÇALVES, M. S. **Faixas críticas de teores foliares de nutrientes em mudas de cafeeiro (Coffea arábica L.) produzidas em tubetes**. 2005. 82p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- GONTIJO, R. A. N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em mudas de cafeeiro (Coffea arábica L.)**. 2004. 84p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- GUIMARÃES, P. M. Altura de poda de mudas “passadas” de café em viveiros e seu comportamento no campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 7., 1979, Araxá. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1979. p. 89-91
- HOAGLAND, D.R.; ARNO, D.I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University of California/College of Agriculture/Agricultural Experiment Station. 1950. 32 p. (Circular, 347).
- HUERTA, S. A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo, para medir el área foliar del cafeto. **Cenicafé**, Caldas, v. 13, n. 1, p. 33-42, ene./mar. 1962.

- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. p. 64-126.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas-princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2<sup>nd</sup> ed. London; San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal** Rio de Janeiro: Globo Rural, 1997. 139 p.
- MILLS, H. A.; JONES JR., J. B. **Plant analysis handbook II**. 2.ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.
- NEVES O. S. C.; SÁ, J. R de; CARVALHO, J. G. de. Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 306-309, 2004.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 501-507, 1999.
- SANGINGA, N.; GWAJE, D.; SWIFT, M. J. Nutrient requirements of exotic tree species in Zimbabwe. **Plant and Soil**, The Hague, v. 132, p. 197-205, 1991.
- WILSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFORD, N. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. Croom Helm, 1985. Part 6, p. 135-156.

### ARTIGO 3

#### **CARACTERÍSTICAS DA ANATOMIA FOLIAR DE CAFEEIROS (*Coffea arabica* L.) SUBMETIDOS A DEFICIÊNCIA DE K, Ca, Mg, B, Cu, e Zn**

**Roger Alexandre Nogueira Gontijo<sup>1</sup>, Evaristo Mauro de Casto<sup>3</sup>, Rubens José Guimarães<sup>1</sup>, Janice Guedes de Carvalho<sup>2</sup>, Franciane Tavares Braga<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Agricultura (DAG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000  
e-mail: roger@ufla.br, rubesjg@ufla.br

<sup>2</sup> Departamento de Ciências do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000.

<sup>3</sup> Departamento de Biologia (DBI), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG. Caixa Postal 3037, CEP: 37200-000.

(Preparado de acordo com as normas da Revista Ciência Rural)

## RESUMO

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira Gontijo. **Características da anatomia foliar de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) submetidos a deficiências de K, Ca, Mg, B, Cu, Zn.** 2007. p. 41-56. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.\*

A deficiência dos nutrientes essenciais, além comprometer o crescimento e a produção das plantas, pode também alterar sua arquitetura e sua estrutura interna. No entanto, mudanças anatômicas em cafeeiros ocasionadas pela deficiência de nutrientes são pouco exploradas. Este trabalho objetivou avaliar as mudanças nas características anatômicas foliares em cafeeiros submetidos à deficiência de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn. Foram utilizadas plantas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) cultivar Topázio MG 1190 e os tratamentos constituídos de: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução nutritiva menos K, solução nutritiva menos Ca, solução nutritiva menos Mg, solução nutritiva menos B, solução nutritiva menos Cu e solução nutritiva menos Zn. Cada parcela foi constituída por uma planta por vaso de 2 litros. As secções transversais e paradérmicas foram obtidas por meio de microtécnicas usuais em botânica. Com os resultados obtidos, observou-se que as deficiências de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn promoveram mudanças anatômicas foliares no cafeeiro. A espessura das epidermes da face abaxial e adaxial, do parênquima esponjoso e paliádico, do limbo foliar, bem como o diâmetro polar e equatorial dos estômatos e a relação entre eles foram as características anatômicas influenciadas pelas deficiências.

**Palavras chave:** Cafeeiro, anatomia foliar, nutrição mineral, deficiência nutricional.

---

\* Comitê orientador: Dr. Rubens José Guimarães (Orientador), UFPA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora), UFPA.

## ABSTRACT

GONTIJO, Roger Alexandre Nogueira. **Characteristics of coffee (*Coffea arabica* L.), leaf anatomy submitted to deficiency of K, Ca, Mg, B, Cu and Zn.** 2007. p. 41-56. Thesis (Doctorate in Crop Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.

The essential nutrients besides to reduce the growth and plant production, can also alter its architecture and internal structure. Although the anatomical changes in coffee caused by nutrient deficiency have little information. This work aimed to evaluate the changes in leaf anatomical characteristics of coffees submitted to deficiency of K, Ca, Mg, B, Cu and Zn. There were used coffee (*Coffea arabica* L.) plants, cultivar Topázio MG 1190, and the treatments composed by: full strength of nutritive solution (Hoagland & Arnon, 1950), nutritive solution without K, nutritive solution without Ca, nutritive solution without Mg, nutritive solution without B, nutritive solution without Cu and nutritive solution without Zn. Each plot was composed by a plant per pot 2L. The transversal and paradermic sections were obtained by basic micro technique in botany. It was observed that K, Ca, Mg, B, Cu and Zn deficiency promoted leaf anatomical changes in coffee. The thickness of abaxial and adaxial epiderm, palissadic and spongyous parenchyma, leaf, as well as the polar and equatorial diameter of stomates and the relation among them, were anatomical characteristics influenced by deficiencies.

Key words: Coffee plant, leaf anatomy, mineral nutrition, nutritional deficiency.

---

\* Guidance Committee: Dr. Rubens José Guimarães (Adviser), UFLA;  
Dra. Janice Guedes de Carvalho (Co-Adviser), UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

Não bastassem os problemas de mercado, o ataque de pragas, as doenças e o déficit hídrico, dentre outros fatores, a produção e a produtividade, nos países produtores, têm como um dos principais entraves a nutrição inadequada das plantas.

Além de afetar o crescimento e a produção das plantas, os nutrientes minerais exercem funções no metabolismo vegetal, como alterações na arquitetura, na anatomia e na sua composição química (Marschner, 1995). Segundo Malavolta (2006), as deficiências nutricionais, tanto em culturas anuais como em perenes, são comuns nos solos brasileiros.

A falta ou o excesso de um dado nutriente é traduzido em anormalidades visíveis, que são típicas de cada nutriente. O motivo pelo qual o sintoma é típico está no fato de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie de planta. Deve-se ter em mente, entretanto, que, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados: é o que se chama de “fome escondida”. O sintoma visível é o fim de uma série de eventos que têm início com alterações moleculares, avança para modificações subcelulares, intensifica-se com alterações celulares e atinge o tecido, modificando-o, ocasionando a expressão de sintomas visíveis (Malavolta et al., 1997).

Há, na literatura especializada, trabalhos relacionados a modificações anatômicas decorrentes de estresse hídrico, fotoperíodo, sombreamento, mas, não foi encontrado nenhum relacionado a mudanças anatômicas em cafeeiros (*Coffea arabica* L.) ocasionadas pela omissão de nutrientes. Portanto, pesquisas básicas e o conhecimento dessas alterações são necessários e importantes para subsidiar outros trabalhos. Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado com

o objetivo de avaliar as mudanças anatômicas foliares decorrentes da deficiência de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn, em cafeeiros (*Coffea arabica* L.).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Cultura de Tecidos e Anexos do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, região Sul do estado de Minas Gerais, a 910 m de altitude, latitude 21°14'S e longitude 45°00'W. Segundo a classificação climática de Köppen (1948), o clima regional é do tipo Cwa, com características Cwb, apresentando duas estações definidas: seca, com temperaturas mais baixas de abril a setembro, e chuvosa, com temperaturas mais elevadas, de outubro a março.

O experimento foi conduzido entre os meses de agosto de 2006 a março de 2007. Foram utilizadas plantas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), cultivar Topázio MG 1190, provenientes de tubetes que se encontravam com sete pares de folhas verdadeiras. As mudas permaneceram na solução nutritiva completa com 30%, 60% e 100% da sua força iônica pelo período de 36 dias em cada concentração. Posteriormente, foram transferidas para os vasos, nos quais foram aplicados os tratamentos. As soluções foram trocadas quinzenalmente durante os 250 dias de condução do experimento.

Os tratamentos foram constituídos de: solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950), solução nutritiva menos K, solução nutritiva menos Ca, solução nutritiva menos Mg, solução nutritiva menos B, solução nutritiva menos Cu, e solução nutritiva menos Zn. Cada parcela foi constituída por uma planta por vaso de 2 litros.

Quando as plantas dos diferentes tratamentos apresentavam sintomas característicos da deficiência de cada nutriente, as mesmas eram retiradas para proceder-se à coleta do material. Foram coletadas folhas de seis indivíduos de

cada tratamento, no terço mediano da planta. As folhas foram fixadas em FAA por 72 horas e conservadas em álcool 70% (Johansen 1940). Foram realizadas secções transversais e paradérmicas à mão livre no terço mediano da folha, entre a nervura mediana e a borda do limbo.

As secções transversais foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio 50%, em seguida, lavadas em água destilada, coradas com azul de astra e safranina e montadas em glicerina 50% (Kraus & Arduin 1997).

Foram realizadas medições da espessura total do limbo foliar, das células epidérmicas de ambas as faces da folha e do número de camadas do parênquima paliçádico e esponjoso (medidas lineares em cm foram convertidas em  $\mu\text{m}$  por meio de fatores de correção obtidos com lâmina micrometrada). Calculou-se a percentagem de ocorrência do número de camadas do parênquima paliçádico, em 15 observações de cada tratamento.

Para a determinação da densidade estomática, expressa em número de estômatos por  $\text{mm}^2$ , foram realizados cortes em secções paradérmicas manuais na parte mediana de cada folha na epiderme na face abaxial e os cortes submetidos ao processo de coloração com safranina a 0,1%, em água glicerinada. As observações foram realizadas em microscópio Olympus CBB, com o auxílio de uma câmara clara, em campos da região mediana de 4 folhas provenientes de plantas distintas, perfazendo um total de 16 campos por tratamento. Os diâmetros polar e equatorial dos estômatos ( $\mu\text{m}$ ) foram medidos em microscópio Ken-a-vision 2100, na face abaxial da epiderme, conforme técnica de Labouriau et al. (1961).

As fotomicrografias foram feitas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia da UFLA, utilizando-se máquina fotográfica acoplada a um microscópio Olympus modelo BX 60 em objetiva de 40x.

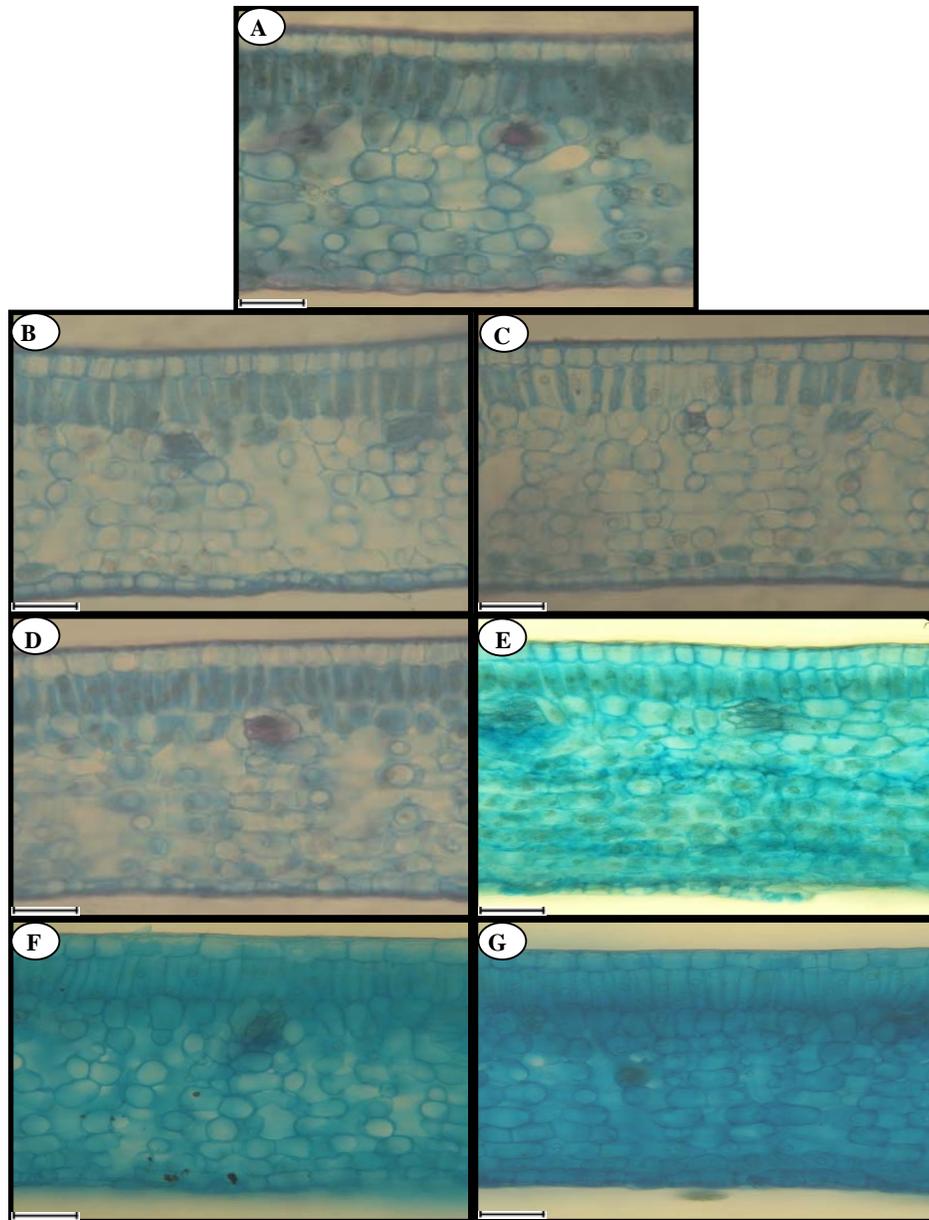
O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado e os dados submetidos ao programa Sisvar 4.3 (Ferreira, 2000), para a realização das

análises de variância. As médias foram comparadas pelo Teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo observou-se que o mesofilo de folhas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) submetidas a todos os tratamentos é do tipo dorsiventral, apresentando parênquima paliçádico na face superior da lâmina (adaxial) e parênquima esponjoso na face inferior (abaxial), como descrito por Dedeca (1957). O parênquima paliçádico apresentou apenas uma camada de células alongadas e bem justapostas. Em espécies com mesofilo dorsiventral, a grande maioria dos cloroplastos é encontrada nas células do parênquima paliçádico. Devido à forma e ao arranjo dessas células, os cloroplastos podem se dispor paralelamente às paredes celulares, aumentando a eficiência fotossintética (Menezes et al., 2003; Soares, 2005). O parênquima esponjoso apresenta células arredondadas e com grandes espaços intercelulares, com exceção para o tratamento com omissão de boro, no qual este tecido apresentou poucos espaços intercelulares. As epidermes abaxial e adaxial apresentaram apenas uma camada de células, sendo, portanto, uniestratificadas. Observou-se também uma camada espessa de cutícula. As características citadas acima podem ser melhor visualizadas na Figura 1.

Quanto às espessuras dos tecidos que compõem o mesofilo e as epidermes abaxial e adaxial, observou-se efeito significativo da ausência dos nutrientes na solução nutritiva (Tabela 1).



**FIGURA 1** Fotomicrografias de secções transversais em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetidas à deficiência de nutrientes. Solução nutritiva completa (A), omissão de potássio (B), omissão de cálcio (C), omissão de magnésio (D), omissão de boro (E), omissão de cobre (F) e omissão de zinco (G). UFLA, Lavras, MG, 2007. Barra = 30  $\mu$ m.

As plantas cultivadas na solução nutritiva completa e na ausência de magnésio apresentaram espessura da epiderme abaxial e adaxial maior que nos demais tratamentos, os quais não diferiram significativamente entre si (Tabela 1).

**TABELA 1** Espessura dos tecidos epidérmicos, parênquimas paliçádico, esponjoso e limbo foliar de cafeeiros, submetidos a deficiências de potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg), boro (B), cobre (-Cu) e zinco (-Zn). Lavras, MG, 2007.

<b>Tratamentos</b>	<b>Epiderme abaxial</b>	<b>Epiderme adaxial</b>	<b>Parênquima esponjoso</b>	<b>Parênquima paliçádico</b>	<b>Espessura limbo</b>
<b>Completa</b>	21,90 a	26,70 a	201,02 a	45,47 a	295,09 a
<b>- K</b>	16,50 b	22,80 b	161,10 c	39,10 b	239,50 c
<b>- Ca</b>	16,50 b	22,60 b	158,70 c	44,40 a	242,20 c
<b>- Mg</b>	19,20 a	25,20 a	174,27 b	37,50 b	256,17 b
<b>- B</b>	18,60 b	24,30 b	169,70 c	40,80 b	253,40 b
<b>- Cu</b>	17,25 b	23,40 b	180,60 b	40,60 b	261,85 b
<b>- Zn</b>	16,65 b	22,80 b	160,20 c	43,60 a	243,25 c

As médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si, pelo Teste Scott-Knott, a 5% de significância.

Verifica-se (Tabela 1) que a maior espessura de parênquima esponjoso também foi observada nas plantas cultivadas na solução nutritiva completa. As menores espessuras foram observadas para as plantas cultivadas sem potássio, cálcio boro e zinco, que não apresentaram diferença significativa entre si. Na ausência de magnésio e de cobre, as plantas tiveram espessuras intermediárias às dos demais tratamentos. Espessuras inferiores do parênquima paliçádico foram observadas quando da omissão de potássio, magnésio, boro e cobre. Já as plantas

cultivadas na solução completa, sem cálcio e sem zinco apresentaram espessuras superiores, não havendo diferença significativa entre si.

Para Alquini et al. (2006), os parênquimas, paliçádico e esponjoso são parênquimas clorofilianos que possuem como característica principal serem fotossintetizantes, devido à presença de cloroplastos que, por sua vez, convertem energia luminosa em química, armazenando-a na forma de carboidratos.

Maior espessura de limbo foliar foi verificada quando todos os nutrientes foram adicionados à solução nutritiva. As plantas da solução nutritiva sem potássio, cálcio e zinco resultaram em menores espessuras, tendo a omissão de magnésio, boro e cobre resultado em espessuras intermediárias às dos demais tratamentos e não diferido significativamente entre si.

Ramiro et al. (2004), trabalhando com progênies de “Siriema” e cafeeiros arábica, não observaram diferenças significativas para os valores de parênquima esponjoso, porcentagem do mesofilo representada pelo parênquima paliçádico e espessura total da folha.

Pequenas variações na espessura da folha resultam em significativas modificações na fotossíntese em algumas espécies, enquanto outras apresentam grande plasticidade na espessura foliar, com pouca variação na capacidade fotossintética (Yamashita et al., 2002).

Conforme verificado por Dedeca (1957), observou-se, pelas secções paradérmicas das folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) (Figura 2), que as mesmas são do tipo hipoestomática, apresentando estômatos apenas na face da epiderme abaxial. Os estômatos são do tipo paracíticos em todos os tratamentos e as células-guarda de formato elíptico.

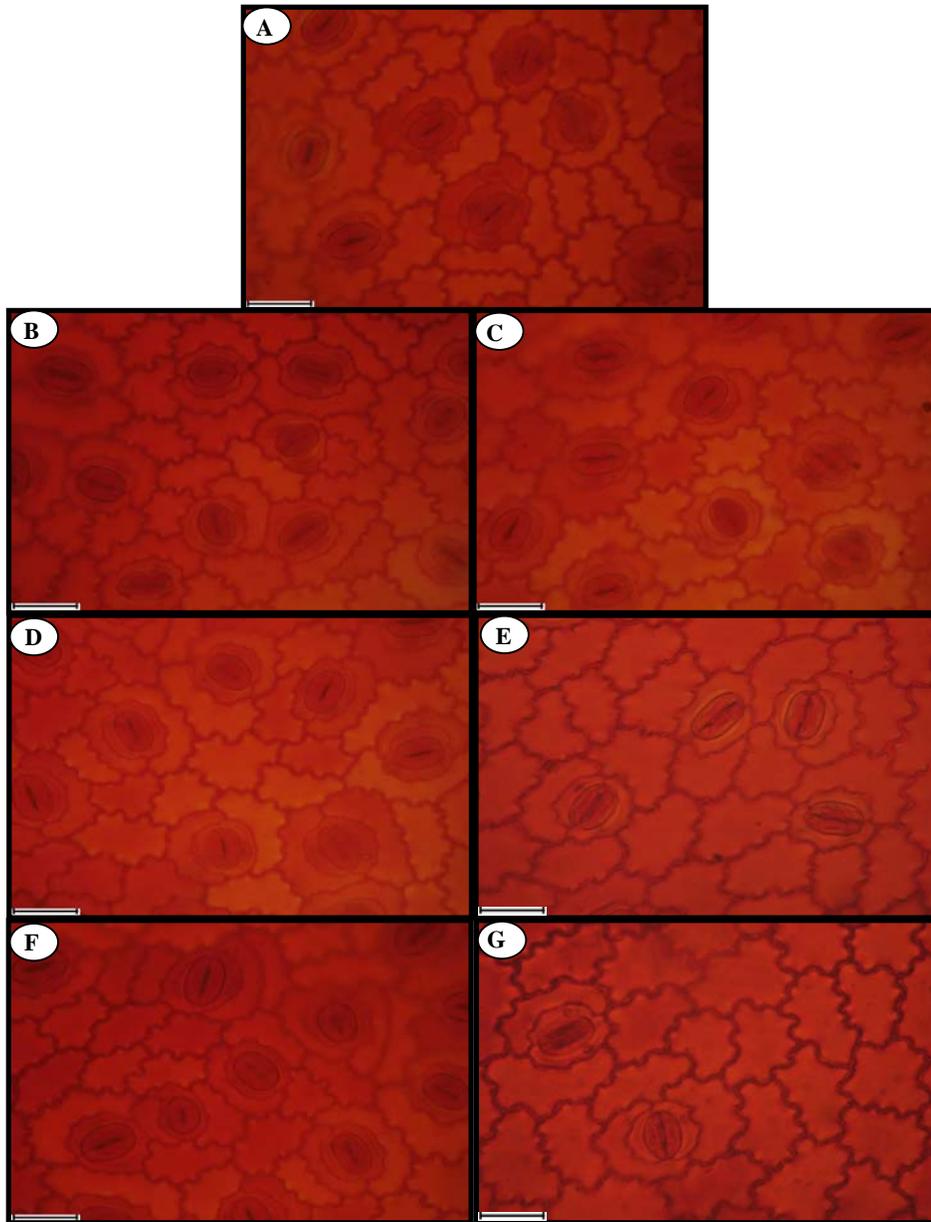
Para densidade estomática, nota-se que as plantas cultivadas na solução completa apresentaram maior número de estômatos/mm<sup>2</sup>. No entanto, para Araújo (2007) e Rocha (2005), a análise da densidade estomática, por si só, não é um parâmetro preciso para afirmar a adaptabilidade anatômica de espécies.

Menor número de estômatos por mm<sup>2</sup> foi observado quando não foram adicionados boro e zinco à solução. A densidade estomática das plantas dos tratamentos menos potássio, cálcio, magnésio e cobre foram inferiores a densidade verificada nas plantas da solução completa e superiores às densidades apresentadas pelas plantas do tratamento com omissão de boro e zinco, que não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 2).

**TABELA 2** Densidade estomática (mm<sup>2</sup>), diâmetros polar e equatorial (µm) dos estômatos e relação entre diâmetro polar e equatorial de folhas de caféiro submetidas a deficiência de potássio (-K), cálcio (-Ca), magnésio (-Mg), boro (-B), cobre (-Cu) e zinco (-Zn). Lavras, MG, 2007.

<b>Tratamentos</b>	<b>Densidade estomática</b>	<b>Diâmetro polar</b>	<b>Diâmetro equatorial</b>	<b>Relação diâmetro polar/equatorial</b>
<b>Completa</b>	291,60 a	28,31 a	15,41 b	1,84 a
<b>- K</b>	267,25 b	24,64 c	15,64 b	1,58 b
<b>- Ca</b>	270,59 b	26,02 b	16,70 a	1,56 b
<b>- Mg</b>	268,02 b	25,96 b	15,69 b	1,65 b
<b>- B</b>	185,46 c	24,80 c	17,64 a	1,41 c
<b>- Cu</b>	265,53 b	25,07 c	18,02 a	1,40 c
<b>- Zn</b>	137,08 c	24,90 c	17,03 a	1,46 c

As médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si, pelo Teste Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.



**FIGURA 2 -** Fotomicrografias de seções paradérmicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetidas à deficiência de nutrientes. Solução nutritiva completa (A), omissão de potássio (B), omissão de cálcio (C), omissão de magnésio (D), omissão de boro (E), omissão de cobre (F) e omissão de zinco (G). UFLA, Lavras, MG, 2007. Barra = 30 µm.

Nota-se, pelos dados da Tabela 2, que, como observado para densidade estomática, o maior diâmetro polar foi observado para as plantas cultivadas na solução nutritiva completa, seguido da omissão de cálcio e magnésio. Os menores diâmetros foram para potássio, boro, cobre e zinco, que não apresentaram diferença significativa.

Para diâmetro equatorial dos estômatos, verifica-se (Tabela 2) que, na ausência de cálcio, boro, cobre e zinco, houve aumento no diâmetro dos estômatos, sendo os demais inferiores e não tendo diferido significativamente entre si.

Para Khan et al. (2003), a forma elíptica é característica de estômatos funcionais, enquanto a forma arredondada está associada a estômatos que não apresentam um funcionamento normal. Portanto, o desejável é que as folhas apresentem maiores valores de diâmetro polar e menores valores de diâmetro equatorial para o melhor desenvolvimento da plantas, o que pôde ser observado quando foram adicionados todos os nutrientes.

Os resultados observados para a relação entre o diâmetro polar e o equatorial, artifício utilizado para medir a funcionalidade dos estômatos, confirmam o exposto acima, pois, a maior relação entre diâmetro polar e equatorial foi observada nas plantas cultivadas na solução nutritiva completa. A omissão de boro, cobre e zinco na solução nutritiva proporcionou menores valores, portanto, seus estômatos não apresentam funcionamento normal. Já a omissão de potássio, de cálcio e de magnésio resultou em valores intermediários e não diferiram significativamente entre si (Tabela 2).

#### 4 CONCLUSÕES

1 - A omissão dos nutrientes K, Ca, Mg, B, Cu e Zn na solução nutritiva afetou a estrutura interna da planta, comprometendo, conseqüentemente, o desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

2 - A espessura das epidermes da face abaxial e adaxial, do parênquima esponjoso e paliçádico, do limbo foliar, bem como o diâmetro polar e equatorial dos estômatos e a relação entre eles foram as características anatômicas foliares influenciadas pelas deficiências de K, Ca, Mg, B, Cu e Zn.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALQUINI, Y.; BONA, C.; BOERGER, M. R. T.; COSTA, C. G.; BARROS, C. F. Epiderme In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-108.

ARAÚJO, A. G. de. **Micropropagação de *Cattleya loddigesii* ‘tipo’**: fontes de nitrogênio, qualidade de luz, sacarose e ácido giberélico. 2007. 74p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

DEDECA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *Typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 23, p. 315-355, dez. 1957.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University Of California Berkeley, 1950. 32p.

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

KHAN, S. V.; KOZAI, T.; NGUYEN, O. T.; KUBOTA, C.; DHAWAN, V. Growth and water relations of *Paulownia fortunei* under photomixotrophic and photoautotrophic conditions. **Biologia plantarum**, Dordrecht, v. 46, n. 2, p. 161-166, 2003.

KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KRAUS, J. E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.

LABOURIAU, L. G.; OLIVEIRA, J. G.; SALGADOLABOURIAU, M. L. Transpiração de *Schizolobium parahyba* (Vell) Toledo I. Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 237-257, jun. 1961.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2<sup>nd</sup> ed. London; San Diego: Academic, 1995. 889p.

MENEZES, N. L.; SILVA, D. da. C.; PINNA, G. F. A. M. Folha. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, C.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p.303-311.

RAMIRO, D. A.; GUERREIRO-FILHO, O.; VOLTAN, R. B. Q.; MATTHIESEN, S. C. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3. p. 363-367, 2004.

ROCHA, H. S. **Luz e sacarose na micropropagação da bananeira “Prata Anã”**: alterações morfoanatômicas. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOARES, F. P. **Aspectos do cultivo *in vitro* da mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2005. 121p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

YAMASHITA, N.; KOIKE, N.; ISHIDA, A. Leaf ontogenetic dependence of light acclimation in invasive and native subtropical trees of different successional status. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 10, p. 1341-1356, Oct. 2002.