

ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIROS EM VIÇOSA-MG

Bruno Galvêas LAVIOLA¹; Herminia Emilia Prieto MARTINEZ²; Ronessa Bartolomeu de SOUZA³; Luiz Carlos Chamhum SALOMÃO²; Cosme Damião CRUZ⁴

¹MSc., Eng. Agr^o, Estudante de Doutorado em Fitotecnia - UFV. Bolsista CNPq. E-mail: laviolabg@yahoo.com.br; ²DSc., Eng. Agr^o, Prof. Departamento de Fitotecnia, UFV, Viçosa, MG, Brasil, 36570-000, E-mail: herminia@ufv.br; ³DS, Pesquisadora da EMBRAPA Hortaliças, E-mail: ronessa@cnph.embrapa.br; ⁴DSc., Eng. Agr^o, Prof. Departamento de Biologia Geral, UFV. E-mail: cdcruz@ufv.br

Resumo:

Estudou-se o acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiro arábico da antese à maturação. O experimento foi realizado com três variedades de cafeeiro arábico distribuídas em três ensaios independentes (níveis de adubação baixo, adequado e alto), instalados em blocos ao acaso com duas repetições em um esquema de parcelas subdivididas no tempo. Não se observou efeito das variedades, bem como dos níveis de adubação no acúmulo de macronutrientes em frutos ao longo do período reprodutivo. As maiores taxas de acúmulo de matéria seca (MS), N, P, K, Ca, Mg e S foram observadas no estágio de expansão rápida do fruto, entre os 79 a 85 DAA (dias após antese). O acúmulo de Ca e Mg ocorreram com maior velocidade no estágio de chumbinho comparado aos demais nutrientes. Foram observados maiores acúmulos de N e P no estágio de expansão rápida e de MS e K no estágio granação-maturação. Já a proporção de acúmulo de S em frutos foi semelhante nos dois estádios acima.

Palavras-Chave: *Coffea arabica* L.; Fisiologia vegetal; Nutrição mineral; Desenvolvimento do fruto.

ACCUMULATION OF MACRONUTRIENTS IN FRUITS IN THE COFFEE PLANTS IN VIÇOSA-MG

Abstract:

There was studied the macronutrients accumulation in fruits of arabic coffee plant along the period comprehended among the anthesis and the maturation. The experiment was carried out with three varieties of arabic coffee tree distributed in three independents essays (levels of fertilization low, sufficient and high), installed in randomized blocks with two repetitions using a split-plot in time scheme. Here was not observed varieties nor fertilization effects in the accumulation macronutrient fruit and in these contents in leaves, along the reproductive period. The largest accumulation rates of MS, N, P, K, Ca, Mg and S were observed at the first fast expansion fruit stadium, among 79 to 85 DAA (Day after the anthesis). Compared to the other nutrients Ca and Mg accumulation happened with larger speed in the first suspended growth stadium. The highest accumulations of N and P were observed at the first fast expansion stadium. For DM and K the highest accumulation rates occurred at the grain formation-maturation stadium. For S the fruit accumulations were was similar in the stadiums.

Key words: *Coffea arabica* L ; Plant physiology; Mineral nutrition; Development of the fruit

Introdução

O fornecimento de fertilizantes ao cafeeiro para suprir as necessidades nutricionais depende, principalmente, das exigências da planta para manutenção do crescimento vegetativo e das exigências para formação dos frutos. Durante a fase reprodutiva do cafeeiro, os frutos são os drenos preferenciais na partição nutrientes (Rena et al., 1985) e, quanto maior for a produção de frutos, maior será a exigência das plantas em nutrientes.

Durante o desenvolvimento, os frutos passam pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação até a maturação (Rena et al. 2001), havendo diferença entre os estádios na partição de nutrientes minerais para os frutos (Laviola, 2004). Desta forma, além das quantidades de nutrientes a serem aplicados é importante, também, a identificação da fase de formação dos frutos com maior taxa de acúmulo de elementos, ou seja, maior demanda.

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante o período reprodutivo são uma importante ferramenta para estimar as necessidades nutricionais da cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes. Na Costa Rica, Ramirez et al. (2002), verificaram que mais de 50 % do acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiro ocorreu até 90 dias após a floração, no estágio de expansão rápida, em um ciclo reprodutivo de 240 dias, entre os meses de março a outubro. No Brasil, normalmente, o período reprodutivo do cafeeiro ocorre entre os meses de setembro a junho (Camargo & Camargo, 2001), sendo que os estádios de formação dos frutos podem adiantar ou atrasar em função do clima e da região (Camargo & Cortez, 1998). Desta forma é imprescindível o estudo do acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante a fase reprodutiva nas condições climáticas do Brasil para identificar o período de maior exigência nutricional da cultura e, assim, melhorar a eficiência das práticas de adubação.

Foi objetivo com este trabalho acompanhar o acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiro arábico da antese à maturação. Além disso, também foi objetivo com este trabalho a identificação do período de maior exigência nutricional pela cultura durante o ciclo reprodutivo.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em Área Experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, com altitude de 651 m, latitude sul 20°45' e longitude oeste 42°51', em talhão de café implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Foram realizados três experimentos, sendo cada ensaio com um nível de adubação diferenciado. O ensaio 1 recebeu o nível de adubação baixo, o ensaio 2 o nível de adubação adequado e o ensaio 3 o nível de adubação alto. As plantas dos ensaios receberam desde o plantio os níveis de adubação e calagem (com base na análise do solo). Cada experimento continha três variedades de cafeeiro arábico, Catuaí Vermelho IAC-99, Rubi MG-1192 e Acaiá IAC-474-19, plantadas em blocos ao acaso no espaçamento de 2,0 x 1,0 m. As plantas apresentavam 4 anos de idade e foram empregados em cada ensaio as doses de adubação apresentadas na Tabela 1

O calcário foi aplicado a lanço superficialmente antecedendo o período chuvoso. Os demais adubos foram parcelados em aplicações semanais realizadas de novembro a março ao solo de forma localizada pela utilização de fertirrigação por gotejamento; Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais (dezembro., janeiro e fevereiro), utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, oxicleto de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

O delineamento experimental empregado em cada ensaio foi em blocos ao acaso distribuídos em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo três variedades de café e 12 coletas, com duas repetições. Cada parcela foi constituída de 25 plantas dispostas em cinco fileiras, ocupando uma área de 50 m². Consideraram-se como parcela útil as nove plantas dispostas no centro das três fileiras centrais da parcela.

Tabela 1 – Adubação empregada no ano agrícola de 2001/2002

Nível de Adubação	Calcário t/ha	Ng/planta.....	P ₂ O ₅	K ₂ O
Baixo	0,13	42	6,4	25,6
Adequado	0,33	105	16	64
Alto	0,46	147	22	89,6

As amostragens iniciaram-se quando houve antese floral, ocasião em que se coletaram folhas, sendo este considerado como dia zero. A partir desta data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro: aos 28, 42, 63, 84, 105, 133, 154, 175, 196, 210 e 224 dias após a antese (DAA). Foram coletados 100 frutos de cada parcela até a 3ª amostragem, 60 frutos da 4ª à 7ª amostragem e 20 frutos por parcela da 8ª amostragem em diante. Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas foram correspondentes ao 3º e 4º pares, na posição distal, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Coletaram durante todas as amostragens 15 folhas por parcela. A última amostragem foi realizada quando os frutos atingiram o ponto de maturação, ou seja, o estágio cereja.

O material vegetal coletado foi lavado em água desionizada e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar forçado a 70 °C até atingir peso constante. Após este processo, os materiais vegetais foram pesados e moídos e submetidos a análises químicas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo em frutos e a variação da concentração de macronutrientes em folhas utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros e cúbico, conforme descrito abaixo:

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

a = Ponto máximo da curva

b = Parâmetro de ajuste

x₀ = Ponto de inflexão

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

a = y_{max} - y_{min}

b = Parâmetro de ajuste

x₀ = Ponto de inflexão

y₀ = Ponto de mínimo da curva

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

O ganho de acúmulo (GA) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo ganho de acúmulo em cada em cada estágio de formação do fruto. Os valores em porcentagem foram obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

Resultados e Discussão:

Após a análise de variância conjunta não se constataram diferenças significativas entre variedades, assim como, entre níveis de adubação sobre o acúmulo de macronutrientes em frutos e a concentração em folhas de cafeeiro ao longo do período reprodutivo. Por esta razão, os resultados são apresentados como a média das observações.

Nas condições de Viçosa (MG), o ciclo reprodutivo do cafeeiro teve duração de 224 dias, tendo a floração ocorrido no dia 04 de setembro e a maturação dos frutos no dia 17 de abril. No entanto, observou-se que o acúmulo de matéria seca não se estabilizou neste período apesar dos frutos apresentarem coloração de frutos maduros (Fig.1). A duração do ciclo reprodutivo observado foi considerada curta comparativamente ao período de 252 dias observado por

Chaves (1982) em Londrina, PR. É provável que as condições edafoclimáticas da área experimental, principalmente altitude (651 m) e temperatura, tenham influenciado para que viesse a ocorrer um menor período de formação dos frutos.

Durante o período de desenvolvimento os frutos passaram por quatro estádios de desenvolvimento distintos, sendo estes: chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação (Rena et al., 2001), como pode ser observado na curva de acúmulo de matéria seca em frutos (Fig. 1).

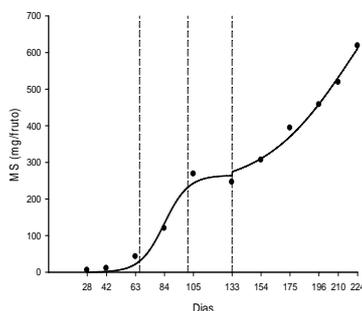


Figura 1 – Acúmulo médio de matéria seca em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento do fruto de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

O período de chumbinho iniciou-se após a floração e apresentou duração até 66 dias após a antese (DAA). O acúmulo de matéria seca nos frutos pouco expressivo neste estágio (Fig. 1) está relacionado ao fato de que o crescimento dos frutos está ocorrendo por multiplicação celular e menos por expansão (Rena et al., 2001; Leon & Fournier, 1962). O fruto no estágio de chumbinho apresenta altas taxas respiratórias (Cannel, 1971) sendo que a maior parte dos fotoassimilados que chegam é convertida em energia para formação de novas células, impedindo o acúmulo de reservas.

Aos 66 DAA iniciou-se o estágio de expansão rápida (Fig. 1), havendo incremento de matéria seca nos frutos até o final do estágio, aos 101 DAA. O aumento de matéria seca neste estágio está relacionado principalmente à expansão celular (Rena et al., 2001), sendo a absorção de água essencial neste processo (Marengo & Lopes, 2005). É provável que o aumento de matéria seca nos frutos durante a expansão celular esteja relacionado ao aumento da síntese de polissacarídeos para formação da parede expandida. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), durante o alongamento celular polímeros de parede são continuamente sintetizados, ao mesmo tempo em que a parede preexistente se expande.

O estágio de crescimento suspenso teve duração de 32 dias entre os 101 a 133 DAA (Fig. 1) no qual se observou acúmulo de matéria seca pouco expressivo nos frutos. É provável que o pequeno crescimento neste estágio esteja relacionado à reciclagem e síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004), antes empregados na síntese de polímeros de parede, para serem utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estágio de granação-maturação.

Por fim, aos 133 DAA iniciou-se o estágio de granação-maturação que teve duração até os 224 DAA (Fig. 1). O estágio de granação-maturação se caracteriza pela deposição de matéria de reserva, principalmente, nas sementes (Rena et al., 2001; Astolfi et al., 1981).

As maiores taxas de acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S foram observadas no estágio de expansão rápida do fruto e ocorreram entre 83 e 88 DAA (Fig. 2). Esta foi à época de maior exigência em macronutrientes pela cultura durante o período reprodutivo, sendo imprescindível a disponibilidade destes nutrientes no solo para absorção pelas raízes.

É possível que as altas taxas de translocação de água para os frutos no estágio de expansão rápida (Ramirez et al, 2002), necessária para a expansão celular (Taiz & Zeiger, 2004; Marengo & Lopes, 2005), venham a causar, conseqüentemente, o carreamento de nutrientes minerais para os frutos. Desta forma, acredita-se que as altas taxas de acúmulo de macronutrientes sejam nesta época seja efeito da translocação de água para os frutos. A deficiência hídrica no estágio de expansão rápida do fruto não irá prejudicar somente a expansão do endocarpo (Rena et al., 2000), mas também o acúmulo de macronutrientes, necessários aos processos metabólicos de formação dos grãos.

No estágio de chumbinho observou maior porcentagem de acúmulo de Ca e Mg comparado aos outros macronutrientes (Tab. 2). É provável que o maior acúmulo de Ca no estágio de chumbinho esteja relacionado à grande importância deste nutriente nos processos de divisão celular e na estabilização de membranas e paredes celulares das novas células formadas (Marschner, 1995; Marengo & Lopes, 2005). Com relação a Mg, este pode ter sido requerido em maior quantidade para acelerar a atividade de ATPases (Marschner, 1995), já que o fruto no estágio de chumbinho possui alta taxa respiratória (Rena et al, 2001; Cannell, 1971).

No estágio de expansão rápida foram observados, também, maiores ganhos no acúmulo de N e P com relação ao acúmulo total de nutrientes nos frutos (Tab. 2). É importante ressaltar que o estágio de expansão rápida apresentou duração de 35 dias, enquanto o estágio de granação 91 dias (Fig. 1 e 2). Portanto, o maior acúmulo no estágio de expansão rápida é resultante das maiores taxas de acúmulo.

É provável que os nutrientes acumulados em maior proporção no estágio de expansão rápida sejam armazenados, principalmente no vacúolo das células dos frutos (Marschner, 1995). Posteriormente, os nutrientes devem ser utilizados gradativamente no metabolismo, de acordo com os requerimentos específicos para cada nutriente ao longo das fases complementares de formação dos frutos dos cafeeiros.

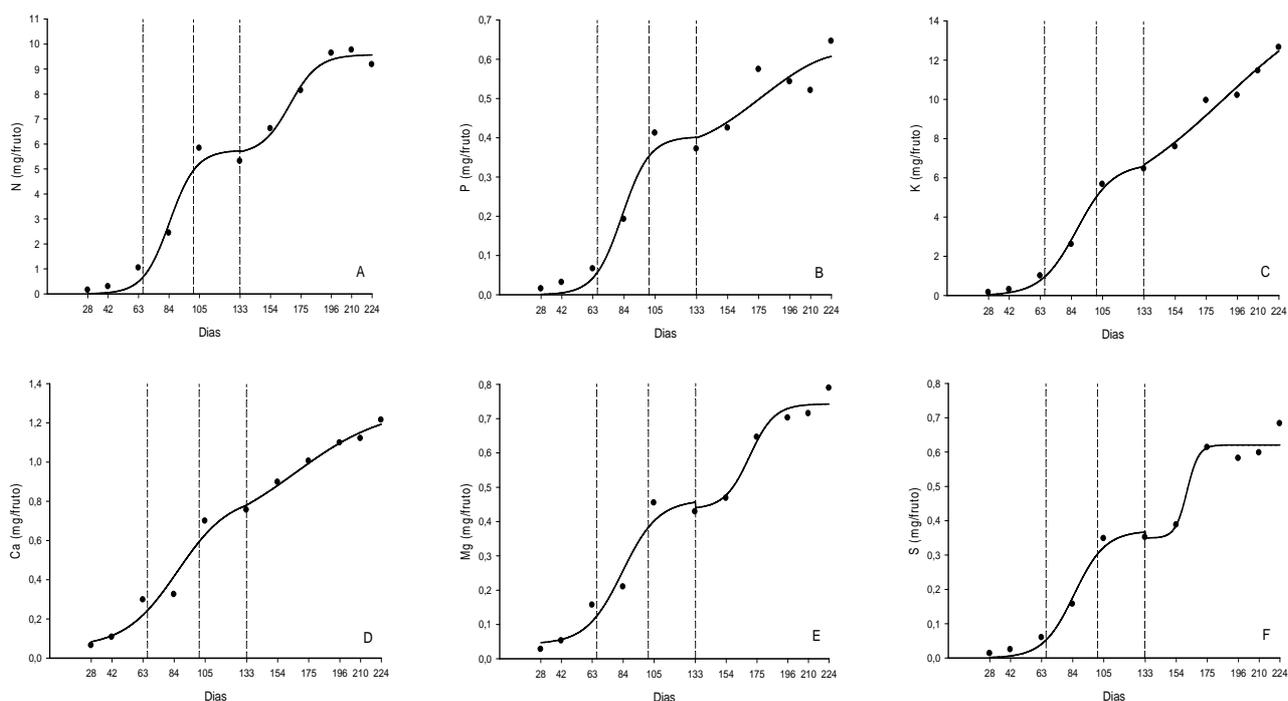


Figura 2 – Acúmulo médio de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e S (F) em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento do fruto de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

Tabela 2 – Ganho de acúmulo (GA, mg/fruto) de acordo com a variável avaliada nos estádios de formação do fruto de cafeeiros

Variável	Chumbinho		Expansão Rápida		Cresc. Suspenso		Gran.-Maturação	
	GA	%	GA	%	GA	%	GA	%
MS	30,412	4,97	201,7	33,01	31,613	5,17	347,5	56,85
N	0,674	7,05	4,282	44,77	0,772	8,07	3,836	40,11
P	0,057	9,36	0,297	48,83	0,048	7,86	0,206	33,95
K	0,965	7,74	4,079	32,73	1,53	12,28	5,889	47,25
Ca	0,243	20,39	0,351	29,45	0,185	15,51	0,413	34,65
Mg	0,124	16,7	0,258	34,78	0,074	9,93	0,287	38,59
S	0,052	8,45	0,252	40,52	0,063	10,14	0,254	40,89

Assim como ocorreu para acúmulo de matéria seca, o maior ganho de acúmulo de K foi observado no estágio de granação-maturação (Tab. 2). O K é um nutriente de alta mobilidade e possui função importante no transporte de fotoassimilados no floema (Marschner, 1995), fazendo com que a deposição de biomassa no fruto seja acompanhada, necessariamente, pelo acúmulo de K. Além disso, o K é um nutriente requerido na ativação de diversas enzimas que são essenciais na síntese de compostos orgânicos, entre estes o amido (Marenco & Lopes, 2005; Marschner, 1995).

O início de estabilização (Fig.2) no acúmulo de macronutrientes em frutos ocorreu aos 187 DAA para N e Mg e aos 169 DAA para S. A partir destas datas o fornecimento dos nutrientes pouco influencia na formação do fruto de cafeeiro. Os nutrientes K, P e Ca não apresentaram estabilização em seus acúmulos no final do ciclo.

A ordem de acúmulo de macronutrientes pelos frutos, em mg/fruto (Fig 2), na época em que se obteve o máximo acúmulo foi a seguinte: K (12,60) > N (9,79) > Ca (1,18) > Mg (0,78) > S (0,69) > P (0,65). A ordem de extração foi semelhante a encontrada por Chaves (1982). Correa et al. (1984) e Ramirez et al. (2002) também encontraram resultados semelhantes, porém, observaram maior extração de P em relação a S. A maior extração de P nestes experimentos pode estar relacionado à maior disponibilidade no solo deste nutriente, sendo influenciada pela textura do solo (Novais & Smyth, 1999).

Pelos resultados encontrados, é possível inferir que as práticas de adubação em regiões semelhantes a Viçosa devem começar antes do início do estágio de expansão rápida do fruto. No caso deste ano agrícola o fornecimento de nutrientes deveria ser iniciado antes dos 66 DAA. Além da época de adubação, uma maior proporção de macronutrientes deve ser fornecido até o fim do estágio de expansão rápida. Este estágio, que apresentou duração de apenas 63 dias em um ciclo de 224 dias, foi responsável pelo acúmulo de, aproximadamente, 50% dos macronutrientes. Já no estágio de granação-maturação, o ultimo parcelamento das adubações deve ocorrer antes da taxa de acúmulo de macronutrientes atingir seu valor máximo. Nas condições experimentais, o ultimo parcelamento da adubação deveria ocorrer antes dos 176 DAA. No

entanto, deve-se considerar, também, outros aspectos como o uso e manejo de irrigação suplementar e a umidade no solo para se efetuar as adubações.

Sendo a análise foliar uma importante ferramenta para o diagnóstico nutricional das plantas, em cafeeiro, esta deve ser realizada antes da fase de rápida expansão do fruto (Martinez et al., 1999). Nas condições de Viçosa, neste ano agrícola, a análise foliar deveria ser realizada antes de 09 de novembro, momento em que se iniciou a fase de expansão rápida e o acúmulo de nutrientes em frutos. Apesar disso, mais estudos são necessários, pois floradas mais tardias podem retardar o início da fase de expansão do fruto (Camargo & Cortez, 1998).

Conclusões

1. No estágio de expansão rápida, entre 79 a 85 DAA, foram observados as maiores taxas de acúmulo de MS, N, P, K, Ca, Mg e S para os frutos durante o período reprodutivo.
2. O acúmulo de Ca e Mg precederam os demais nutrientes apresentando no estágio de chumbinho maior porcentagem de acúmulo comparado aos demais elementos.
3. Os maiores ganhos de N e P ocorreram no estágio de expansão rápida e de MS e K no estágio de granação-maturação. O acúmulo de S foi próximo nos dois estádios de formação dos frutos.
4. As adubações do cafeeiro com macronutrientes devem iniciar antes do estágio de expansão rápida do fruto.

Agradecimentos

A Universidade Federal de Viçosa, ao CNPq, e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café pelo financiamento do projeto.

Referências Bibliográficas

- CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, 60(1), 65-68,2001.
- CAMARGO, A.P.de & CORTEZ, J.G. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**. Trabalhos apresentados no 24º. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Rio de Janeiro : PROCAFÉ, 1998.
- CANNEL, M.G.R. Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of *Coffea arabica* L. J. Hort. Sci., 46: 263-272, 1971.
- CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes em frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. CV. Catuaí)**. 1982. 131p. (Tese de Mestrado – Solos e Nutrição de Plantas – ESALQ-USP).
- LAVIOLA, B.G. **Dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação**. Viçosa: UFV, 100p., 2004 (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia)
- LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, 12: 65-74, 1962
- MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 451p., 2005
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999. p. 144-168.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 300p.
- RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. **Agronomia Costarricense** 26 (1): 33-42. 2002
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. Informe Agropecuário. Belo Horizonte: 11 (126), 1985, p.26-40
- RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001, p.101-128.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 719p., 2004