

ACÚMULO EM FRUTOS E VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO FOLIAR DE NPK EM CAFEIEIRO CULTIVADO EM QUATRO ALTITUDES

ACCUMULATION IN FRUITS AND VARIATION IN THE CONTENTS IN LEAVE OF NPK IN COFFEE PLANT CULTIVATED IN FOUR ALTITUDES

Bruno Galvêas LAVIOLA¹; Hermínia Emilia Prieto MARTINEZ²; Luiz Carlos Chamhum SALOMÃO²; Cosme Damião CRUZ³; Sebastião Marcos MENDONÇA⁴; Luciana ROSADO⁵

1. Engenheiro Agrônomo, Bolsista CNPq., Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG laviolabg@yahoo.com.br; 2. Professor, Doutor, Departamento de Fitotecnia - CCA, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa - MG; 3. Professor, Doutor, Departamento de Biologia Geral - CCA – UFV; 4. Engenheiro Agrônomo, Pesquisador, Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer, Martins Soares, MG, Brasil; 5. Estudando de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

RESUMO: Estudou-se o acúmulo de matéria seca, N, P e K em frutos de cafeeiro arábico da antese à maturação em quatro altitudes, bem como, a variação na concentração dos nutrientes em folhas dos ramos produtivos. O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720, 800, 880 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 3 repetições, usando um esquema de parcela subdividida no tempo. O aumento da altitude influenciou no ciclo reprodutivo do cafeeiro, demandando maior tempo para formação dos frutos. No estágio de expansão rápida a porcentagem de acúmulo de MS e NPK foram maiores na altitude de 720 m, comparado, principalmente à altitude de 950 m. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) no estágio de granação-maturação apresentou tendência de ser mais tardia com elevação da altitude. De modo geral, a altitude influenciou na variação das concentrações foliares de nutrientes, apesar de não se ter observado uma resposta padrão da concentração foliar ao aumento da altitude. De acordo com os resultados experimentais, verificou-se que a demanda de N, P e K é relativamente elevada já no estágio de expansão rápida do fruto, embora a fase de maior demanda tenha sido a de granação-maturação do fruto.

PALAVRAS-CHAVE: Fisiologia vegetal. *Coffea arabica* L. Nutrição mineral. Temperatura.

INTRODUÇÃO

Em geral, no Brasil o cafeeiro arábico vem sendo cultivado em regiões com altitudes que variam de 400 a 1.200 m (MATIELLO et al., 2005). As diferentes altitudes de cultivo provocam alterações morfológicas e fisiológicas que influenciam no ciclo vegetativo e reprodutivo da planta.

Em regiões de maior altitude o cafeeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência da altitude no ciclo reprodutivo do cafeeiro está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas. De acordo com Larcher (2004), a temperatura possui uma influência indireta sobre o crescimento e no curso de desenvolvimento e um efeito direto via processos regulatórios sobre a planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas.

Os frutos, durante o desenvolvimento, passam pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação até a maturação (RENA et al., 2001; RENA; MAESTRI, 1985). Os estádios de formação dos frutos são bem

definidos, porém, segundo Camargo; Cortez (1998), estes podem adiantar ou atrasar em função do clima e da região, inclusive a altitude.

Na fase reprodutiva do cafeeiro, os frutos são os drenos preferenciais por carboidratos e nutrientes minerais, levando, muitas vezes, à carência de nutrientes em outros órgãos das plantas (CARVALHO et al, 1993; RENA; MAESTRI, 1985). Carvalho et al. (2005) verificaram que cerca de 45% da matéria seca acumulada ao final do ciclo reprodutivo estava nos frutos, evidenciando a força de dreno que os estes exercem.

O fornecimento de nutrientes minerais para o cafeeiro deve ser suficiente para suprir as demandas dos frutos, bem como, dos órgãos vegetativos. Desta forma, é importante que o suprimento de nutrientes, através das adubações, venha a anteceder os picos de acúmulo de nutrientes pelos frutos. Além disso, é possível, que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de maior altitude seja mais tardio que em regiões de menores altitudes. Assim, as épocas e intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando em conta, o período de maior exigência da planta de cafeeiro em cada região.

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante o período reprodutivo são importantes ferramentas para estimar as necessidades nutricionais da cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes (RAMIREZ et al., 2002).

Foi objetivo com este trabalho o estudo do acúmulo de matéria seca, N, P e K em frutos de cafeeiro arábico da antese à maturação, bem como, a variação na concentração dos elementos em folhas dos ramos produtivos em quatro altitudes de implantação da lavoura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC), localizado no município de Martins Soares, MG. De acordo com a classificação climática de Köppen o clima da região é mesotérmico com verões quentes e úmidos (Cwa).

O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 avaliada em quatro altitudes, conforme mostra a Tabela 1.

No mês de agosto de 2005 foi realizada a análise química do solo de cada talhão da propriedade (Tabela 2) para efetuar a correção de acidez do solo e o fornecimento de nutrientes minerais. O fornecimento de macronutrientes foi via solo, em função da sua fertilidade e da carga pendente de frutos (GUIMARÃES et al., 1999) (Tabela 3). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados. Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares realizadas em 19/10/2005, 22/12/2005 e 22/01/2006, utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g L⁻¹ de cada adubo. As plantas daninhas foram controladas por intermédio de três capinas, sendo realizadas nos meses de outubro, janeiro e abril do ano agrícola 2005/2006.

Tabela 1. Caracterização das lavouras de cafeeiro Catuaí IAC 44 utilizadas no experimento

Altitudes (m)	Idade (anos) *	Espaçamento (m)	Produtividade (sc ha ⁻¹)**
720	4	2,0 x 1,0	21
800	10	2,0 x 1,0	41
880	10	2,0 x 1,0	49
950	11	1,7 x 0,7	34

* Lavoura recepada em 2002; ** Uma saca de café pesa 60 kg.

Tabela 2. Características químicas dos solos da área experimental

Altitude (m)	MO	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	Dag kg ⁻¹		-----mg dm ⁻³ -----				-----cmol _c dm ⁻³ -----	
720	1,7	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	4,29
800	2,7	5,9	18,9	195	4,6	0,8	0	5,45
880	1,7	5,0	21,1	117	2,2	0,3	0	7,43
950	2,4	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	8,25

Altitude (m)	CTC	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		Mg dm ⁻³	%					
720	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	1,54
80	11,35	32,39	52	34,9	68,7	26,4	6,6	4,03
880	10,23	36,54	27	20,9	77,5	32,3	6,4	1,83
950	11,25	24,13	27	13,5	28,1	12,4	3,1	1,54

pH em H₂O = relação 1:2,5; CTC = Capacidade de troca de cátions; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu = Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol L⁻¹; H + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹, pH = 7

Tabela 3. Adubação empregada no ano agrícola de 2005/2006

Altitude (m)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----kg ha ⁻¹ -----		
720	390	0	200
800	400	0	150
880	400	0	150
950	370	0	70

O delineamento experimental empregado foi inteiramente ao acaso distribuído em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, com 4 parcelas (altitudes), 12 subparcelas (datas de amostragens) e três repetições. Para cada altitude foram selecionadas 20 plantas dispostas em quatro fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

As amostragens iniciaram-se em 11 de outubro de 2005, quando houve antese floral, ocasião em que se coletaram folhas, 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 34, 52, 65, 85, 100, 114, 134, 161, 190, 217, 239 e 266 dias após a antese (DAA). Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos

pertencentes ao terço médio da planta e as folhas foram correspondentes aos 3º e 4º pares, contadas a partir do ápice, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Foram coletados 100 frutos parcela⁻¹ nas quatro primeiras amostragens, 60 frutos parcela⁻¹ entre a quinta e a oitava amostragem e 20 frutos parcela⁻¹ nas amostragens seguintes. As folhas foram coletadas em um número fixo de 15 folhas parcela⁻¹ durante todas as amostragens.

Durante o período reprodutivo foram coletadas as temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre 9 e 10 horas da manhã em intervalos semanais de tempo (Tabela 4) e a pluviometria local (Tabela 5).

Tabela 4. Médias das temperaturas das mínimas e máximas e das umidades relativas (UR) ocorridas durante o período reprodutivo do cafeeiro em quatro altitudes.

Temperaturas	Altitudes (m)			
	720	800	880	950
Temp. Mínima Média (°C)	16,22	17,28	18,94	17,33
Temp. Máxima Média (°C)	30,22	29,89	29,50	26,94
Umidade Relativa (%)	73,33	77,50	65,67	81,50

Tabela 5. Índice pluviométrico mensal durante o ano agrícola 2005/06 em Martins Soares (MG).

Ano 2005					Ano 2006						
Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
12,0	168,4	59,3	353,5	278,2	7,0	131,0	256,5	121,8	31,0	8,0	13,8

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

Para determinação dos teores de N, P, K o material vegetal, seco e moído, foi submetido à

digestão sulfúrica (JACKSON, 1958) e à nitroperclórica (JOHNSON e ULRICH, 1959). As amostras digeridas, oriundas da digestão sulfúrica foram utilizadas para a análise do teor de N, enquanto que as amostras processadas pela digestão nitroperclórica foram usadas para as análises dos teores de P e K. O N foi determinado de acordo com o método descrito por Bremner (1965), o P foi determinado pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974) e o K por fotometria de chama.

O acúmulo dos nutrientes por fruto (mg fruto⁻¹) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS de um Fruto (mg)} \times \text{Concentração de um Nutriente (dag kg}^{-1}\text{)}}{100}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de NPK em frutos e a variação de nutrientes em folhas utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros e cúbico. A escolha dos modelos

foi de acordo com o ajuste (R²) e melhor representação do fenômeno. As regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros são:

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

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

O ponto de inflexão foi correspondente ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca e nutrientes em frutos. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg dia⁻¹) foi determinada pelo acúmulo de matéria seca e nutrientes no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

$$C_{\min} = x_0 - 2b$$

A C_{min} indica o momento na curva em que se iniciam ganhos significativos no acúmulo de MS, N, P e K. Já a C_{max} indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

$$C_{\max} = x_0 + 2b$$

O ganho de acúmulo (GA) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo ganho de acúmulo em cada estágio de

formação do fruto, sendo os valores em porcentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$GA = A_F - A_I$$

GA = Ganho de acúmulo no estágio de formação do fruto

A_F e A_I = Acúmulo no final e início do estágio

$$\% = \frac{GA}{AT} * 100$$

AT = Acúmulo alcançado aos 266 DAA

Calculou-se a diferença das concentrações foliares no início do ciclo reprodutivo, na época da floração (C_F), em relação as concentrações foliares de NPK nos respectivos momentos TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação-maturação (C_{GM}). Este gradiente de concentração indica se houve competição fruto/folha pelo acúmulo de NPK nos momentos de maior exigência nutricional da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral nas condições de Martins Soares o ciclo reprodutivo do cafeeiro teve duração total de 266 DAA (dias após a antese), tendo o florescimento principal ocorrido no dia 11/10/2005 e a colheita no dia 04/07/2006. A duração do ciclo foi considerada longa quando comparada à observada por Laviola (2004) em Viçosa, a qual foi de 224 dias. É possível que fatores climáticos sejam

responsáveis pela diferença entre o ciclo reprodutivo nas duas localidades.

Os frutos, durante sua formação, passaram por cinco estádios distintos, sendo estes, de acordo com Cannel, (1971) e Rena et al., (2001), chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Figura 1A; Tabela 6 e 7) seguindo um modelo de crescimento sigmoidal duplo (COOMBE, 1976).

No estágio de chumbinho, que se inicia após o florescimento, os frutos começam seu crescimento por divisão celular (RENA et al., 2001; LEON, FOURNIER, 1962), no qual se observa um pequeno aumento em tamanho e ganho de matéria seca (Figura 1A; Tabela 6). O estágio de chumbinho apresentou duração variando entre 61 a 66 DAA (11/16/12/2005) (Tabela 7), não se verificando efeito da altitude na extensão deste estágio.

O estágio de expansão rápida do fruto apresentou tendência de ser mais extenso na menor altitude (Figura 1A, Tabela 6 e 7). Na altitude de

720 m o estágio de expansão rápida ocorreu entre 66 a 109 DAA (16/12/2005 a 28/01/2006) enquanto a 950 m o mesmo estágio apresentou duração entre 61 a 98 DAA (11/12/2005 a 17/01/2006) (Tabela 7). O aumento de matéria seca no estágio de expansão

rápida está relacionado, principalmente, à expansão celular, com deposição de material de parede (COOMBE, 1976), sendo o fluxo de água para os frutos essencial para este processo (MARENCO; LOPES, 2005).

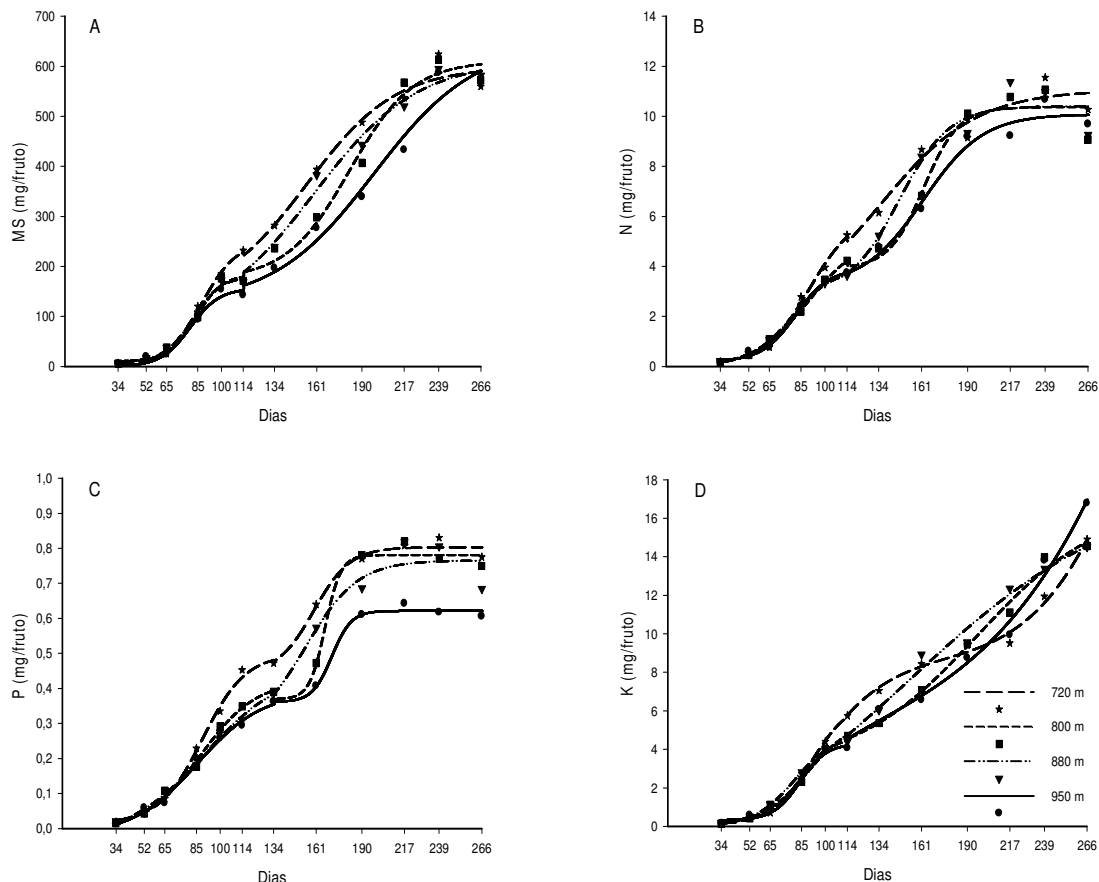


Figura 1. Acúmulo de MS (A), N (B), P (C) e K (D) em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes.

O estágio de crescimento suspenso apresentou maior duração à medida que se foi aumentando a altitude (Figura 1A, Tabela 6 e 7). É possível a desaceleração de crescimento neste estágio esteja relacionada 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. Na menor altitude é provável que os frutos tenham apresentado maiores taxas metabólicas, estimuladas por maiores temperaturas (Tabela 4), realizando os processos de síntese em menor espaço de tempo.

O estágio de granação teve início aos 114 DAA (02/02/2006) apresentando duração até 211

DAA (10/05/2006) na altitude de 720 m e até 262 DAA (30/06/2006) na altitude de 950 m. Em outras palavras, o ciclo reprodutivo do cafeeiro foi maior com o aumento da altitude. É provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Tabela 4) tenham influenciado nas reações enzimáticas e no transporte de fotoassimilados (LARCHER, 2004), ampliando o tempo de formação do fruto de cafeeiro. O estágio de granação se caracteriza pela deposição de substâncias de reserva, principalmente nas sementes as quais alcançam sua matéria seca final quanto os frutos estão ainda verdes (RENA et al., 2001; ASTOLFI et al., 1981).

Tabela 6. Equações de regressão do acúmulo de MS e N, P e K em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese.

Variável	Altitude (m)	Período	Modelo	R ²	
MS	720	34 - 114	$\hat{y} = 3,0983+246,5243/(1+\exp(-(x-87,2082)/11,1720))$	0,997	
		100 - 266	$\hat{y} = 131,5992+466,9270/(1+\exp(-(x-154,5708)/28,4426))$	0,980	
	800	34 - 114	$\hat{y} = 10,1586+174,0190/(1+\exp(-(x-83,1578)/8,6302))$	0,986	
		100 - 266	$\hat{y} = 173,9505+436,6964/(1+\exp(-(x-181,8763)/20,2356))$	0,982	
	880	34 - 114	$\hat{y} = 9,5054+170,4282/(1+\exp(-(x-81,2099)/8,9412))$	0,991	
		100 - 266	$\hat{y} = 80,5608+530,4816/(1+\exp(-(x-159,0731)/32,9222))$	0,986	
	950	34 - 114	$\hat{y} = 156,1461/(1+\exp(-(x-79,7382)/9,3653))$	0,977	
		100 - 266	$\hat{y} = 124,7881+521,8913/(1+\exp(-(x-197,4214)/32,4306))$	0,974	
	N	720	34 - 114	$\hat{y} = 0,04432+6,12615/(1+\exp(-(x-90,0043)/14,4775))$	0,994
			100 - 266	$\hat{y} = 1,84864+9,20705/(1+\exp(-(x-134,5159)/30,5242))$	0,966
800		34 - 114	$\hat{y} = -0,05345+5,35910/(1+\exp(-(x-89,5334)/17,4935))$	0,998	
		100 - 266	$\hat{y} = 3,91535+6,45218/(1+\exp(-(x-162,0779)/11,0483))$	0,958	
880		34 - 114	$\hat{y} = 0,11523+3,76387/(1+\exp(-(x-79,07)/12,6209))$	0,999	
		100 - 266	$\hat{y} = 2,86071+7,54807/(1+\exp(-(x-146,4310)/15,8966))$	0,955	
950		34 - 114	$\hat{y} = 0,20569+3,69928/(1+\exp(-(x-81,2527)/10,5884))$	0,995	
		100 - 266	$\hat{y} = 3,23268+6,85262/(1+\exp(-(x-161,8099)/18,8719))$	0,980	
P		720	34 - 114	$\hat{y} = 0,01539+0,48267/(1+\exp(-(x-88,6941)/13,6783))$	0,996
			114 - 266	$\hat{y} = 0,44156+0,36145/(1+\exp(-(x-159,2629)/11,5562))$	0,988
	800	34 - 134	$\hat{y} = -0,00215+0,42546/(1+\exp(-(x-87,5777)/17,7065))$	0,994	
		114 - 266	$\hat{y} = 0,36938+0,41149/(1+\exp(-(x-166,4192)/4,9526))$	0,986	
	880	34 - 114	$\hat{y} = -0,02699+0,47934/(1+\exp(-(x-90,0677)/24,4373))$	0,994	
		114 - 266	$\hat{y} = 0,27303+0,49254/(1+\exp(-(x-154,1664)/2,7303))$	0,942	
	950	34 - 134	$\hat{y} = -0,01902+0,40905/(1+\exp(-(x-85,227)/20,6244))$	0,990	
		134 - 266	$\hat{y} = 0,36124+0,26054/(1+\exp(-(x-170,6349)/6,2003))$	0,990	
	K	720 m	34 - 114	$\hat{y} = 0,07840+6,51407/(1+\exp(-(x-90,6592)/12,6202))$	0,998
			100 - 266	$\hat{y} = -26,40545+0,54726x-0,00296x^2+0,000005588x^3$	0,992
800 m		34 - 114	$\hat{y} = 0,05967+5,46452/(1+\exp(-(x-88,2105)/14,28285))$	0,995	
		100 - 266	$\hat{y} = 3,05092+13,718/(1+\exp(-(x-196,2295)/39,3032))$	0,993	
880 m		34 - 114	$\hat{y} = 0,09335+4,62817/(1+\exp(-(x-80,1946)/12,2093))$	0,999	
		100 - 266	$\hat{y} = -2,77801+20,70348/(1+\exp(x-152,6756)/69,0745))$	0,988	
950 m		34 - 114	$\hat{y} = 0,32359+3,9733/(1+\exp(-(x-83,5546)/8,4002))$	0,990	
		100 - 266	$\hat{y} = -5,88694+0,1643x-0,00089x^2+0,000002252x^3$	0,987	

Após o estágio de granação iniciou-se o estágio de maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudanças na coloração da casca do fruto (RENA et al., 2001; PUSCHMANN, 1975). Observa-se na Tabela 7 que o estágio de maturação foi até 266 DAA (época da última amostragem), na altitude de 720 m quando a mudança na coloração

da casca do fruto de verde para vermelho ocorreu visivelmente em menor tempo.

A curva de acúmulo de N, P e K em frutos de cafeeiro (Figura 1B, C e D) seguiu o mesmo padrão da curva de acúmulo de MS em frutos (Figura 1A), apresentando incrementos significativos de acúmulo nos estádios de expansão rápida e de granação-maturação, sendo maior neste último.

Tabela 7. Delimitação dos estádios de formação do fruto de cafeeiro (DAA) durante o período reprodutivo com base nas curvas de acúmulo de matéria seca em frutos. Os valores entre parênteses representam a duração (dias) dos estádios.

Altitude (m)	Chumbinho	Exp. Rápida	Cresc. Susp.	Granação	Maturação
720	0-65 (65)	65-109 (44)	109-114 (5)	114-211 (97)	211-266 (55)
800	0-67 (67)	67-100 (33)	100-114 (14)	114-222 (108)	222-266 (44)
880	0-63 (63)	63-99 (36)	99-114 (15)	114-224 (110)	224-266 (42)
950	0-61 (61)	61-98 (37)	98-114 (17)	114-262 (148)	262-266 (4)

De modo geral, no estágio de expansão rápida, a TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) de MS, N, P e K foi maior na altitude de 720 m comparativamente as demais altitudes (Tabela 8). A TMAD de MS, N, P e K no estágio de expansão rápida perdurou entre 79 e 90 DAA (29/12/2005 a 09/01/2006), havendo tendência de este ponto ser atingido mais tardiamente na altitude de 720 m, quando comparado, principalmente a altitude de 950 m. A maior TMAD observada na altitude de 720 m pode ter sido responsável pela tendência do maior intervalo de tempo decorrido para obtenção desse valor (Tabela 8).

É provável que o acúmulo de nutrientes nos frutos no estágio de expansão ocorra por fluxo em massa decorrente das altas taxas de translocação de água para os frutos neste estágio (Ramirez et al., 2002), necessária para expansão celular (COOMBE, 1976; TAIZ; ZEIGER, 2004).

A TMAD nos estádios de granação-maturação apresentou tendência de ser alcançada mais precocemente a 720 m comparada à altitude de 950 m. A 720 m, a TMAD de N ocorreu aos 134 DAA (22/02/2006) enquanto a 950 m este ponto foi alcançado aos 162 DAA (22/03/2006). Para P, a TMAD a 720 m ocorreu aos 159 DAA (19/03/2006) enquanto que a 950 m de altitude a TMAD veio a ocorrer aos 171 DAA (31/03/2006). Estes seriam os momentos de maior requerimento nutricional da cultura, para estes nutrientes, no estágio de granação. Seria importante que o último parcelamento da adubação para suprir as demandas metabólicas da frutificação fosse antes destes momentos.

A curvatura mínima (C_{\min}) é o momento, em dias, que se inicia a ascensão das taxas de acúmulo e a curvatura máxima (C_{\max}) é o momento em que o acúmulo de MS e nutrientes começa a se estabilizar. O C_{\min} é uma importante informação para se saber a partir de quando se inicia a translocação significativa de nutrientes para os frutos. Já a C_{\max} está relacionada ao momento em que reduz a translocação de nutrientes para os frutos se reduz. A C_{\min} e a C_{\max} também foram utilizadas para delimitar os estádios de desenvolvimento dos frutos

(Tabela 7) com base nas curvas de acúmulo de matéria seca (Figura 1A, Tabela 6).

Na primeira fase de crescimento sigmoidal não se observou efeito evidente da altitude sobre a C_{\min} e C_{\max} referentes ao acúmulo de nutrientes, apesar de se ter constatado que a C_{\max} ocorrer em menor tempo na altitude de 950 m (Tabela 8).

O período compreendido entre a C_{\min} , no início do ciclo, e a C_{\max} no final do ciclo está relacionado ao período em que se devem fazer as práticas de adubações.

Embasado nos valores de C_{\min} (Tabela 8) no início do ciclo, pode-se inferir que o primeiro parcelamento da adubação para suprir as exigências da frutificação deve-se iniciar entre 55 a 60 DAA (05/12 a 10/12/05) para N, entre 41 a 61 DAA (21/11 a 11/12/05) para P e entre 56 a 67 DAA (06/12 a 17/12/2005) para K.

Na segunda fase de crescimento sigmoidal o acúmulo de N e P nos frutos estabilizou antes do acúmulo de MS, não se observando efeito da altitude na estabilização do acúmulo (C_{\max}) de N e P em frutos de cafeeiro no final do ciclo. É provável que outros fatores fisiológicos e climáticos (principalmente temperatura máxima, Tabela 4) tenham influenciado na absorção e partição de nutrientes para os frutos de cafeeiro. De modo geral, o acúmulo de N se estabilizou entre 178 a 200 DAA (07 a 29/04/2006) e de P entre 176 a 187 DAA (05 a 16/04/2006).

O K foi o único nutriente, comparado aos avaliados, que não apresentou paralisação em sua translocação para os frutos até a maturação (Figura 1D e Tabela 7). O K é um nutriente de alta mobilidade (MARSCHNER, 1995), e mesmo que as condições ambientais não favoreçam sua absorção no solo, este pode ser remobilizado dentro da planta durante todo o ciclo do cafeeiro. Além disso, o K é um nutriente requerido na ativação de diversas enzimas que são essenciais na síntese de compostos orgânicos, incluindo açúcares solúveis (MARENCO; LOPES, 2005; MARSCHNER, 1995), que são sintetizados com a maturação dos frutos.

Tabela 8. Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diária (TMAD, $mg\ fruto^{-1}\ dia^{-1}$) e mínima (C_{min} , DAA) e máxima curvatura (C_{max} , DAA) em quatro altitudes.

Variável	Altitude (m)	Período	X_{TMAD}	TMAD	C_{min}	C_{max}	
MS	720	34 - 114	87	5,5110	65	109	
		100 - 266	154	4,1025	114	211	
	800	34 - 114	83	5,0323	67	100	
		100 - 266	182	5,3944	141	222	
	880	34 - 114	81	4,7844	63	99	
		100 - 266	159	4,0279	93	224	
	950	34 - 114	80	4,1665	61	98	
		100 - 266	197	4,0222	132	262	
	N	720	34 - 114	90	0,1057	61	114
			100 - 266	134	0,0753	114	196
800		34 - 114	89	0,0765	55	114	
		100 - 266	162	0,1458	140	184	
880		34 - 114	79	0,0745	54	104	
		100 - 266	146	0,1186	115	178	
950		34 - 114	81	0,0872	60	102	
		100 - 266	162	0,0907	124	200	
P		720	34 - 114	89	0,0088	61	114
			114 - 266	159	0,0078	136	182
	800	34 - 134	87	0,0060	52	134	
		114 - 266	166	0,0205	157	176	
	880	34 - 114	90	0,0049	41	114	
		114 - 266	154	0,0075	121	187	
	950	34 - 134	85	0,0049	44	126	
		134 - 266	171	0,0105	158	183	
	K	720	34 - 114	90	0,1287	65	114
			100 - 266	266	0,1576	114	266
800		34 - 114	88	0,0956	60	114	
		100 - 266	196	0,0872	118	266	
880		34 - 114	80	0,0947	56	105	
		100 - 266	152	0,0749	114	266	
950		34 - 114	83	0,1177	67	100	
		100 - 266	266	0,1660	114	266	

Apesar de não se ter observado efeito da altitude no período de consumo de nutrientes pelos frutos (entre C_{min} e C_{max}), pode se observar na Tabela 9 que a altitude influenciou na proporção de consumo dos nutrientes nos estádios de formação dos frutos.

De modo geral, pode se verificar que houve um maior ganho de acúmulo (GA) de MS e NPK no estádio expansão rápida a 720 m quando comparado ao que ocorreu a 950 m de altitude. Por outro lado, no estádio de granação-maturação, observou-se maior proporção no acúmulo de nutrientes a 950 m comparado a 720 m de altitude. Desta forma, observa-se que parece haver uma compensação no acúmulo de nutrientes entre os dois estádios. Se no estádio de expansão o acúmulo é mais acelerado, no estádio de granação o acúmulo

será em menor velocidade e vice-versa. Com estes resultados pode se inferir que o acúmulo de nutrientes em frutos é mais precoce em menores altitudes. As práticas de adubações em regiões de baixa altitude devem fornecer uma maior proporção de nutrientes nas primeiras adubações comparada a regiões de altitudes mais elevadas.

O efeito da altitude no desenvolvimento dos frutos e acúmulo de nutrientes está relacionado, principalmente, a ocorrências de maiores temperaturas à medida que se diminui a altitude. Na Tabela 4 pode se observar que a temperatura máxima média foi menor à medida que se aumentou a altitude de cultivo. De acordo com Camargo (1985), temperaturas acima de 23 °C levam ao aceleração da maturação dos frutos.

Tabela 9. Ganho de acúmulo (GA, mg fruto⁻¹) de acordo com o estágio de formação do fruto de cafeeiro em quatro altitudes.

Variável	Altitude (m)	Chumbinho		Exp Rapida		Cresc. Susp		Granação		Maturação*	
		GA	%	GA	%	GA	%	GA	%	GA	%
MS	720	32,80	5,56	186,3	31,58	10,15	1,72	312,9	53,10	47,34	8,03
	800	33,35	5,52	129,2	21,39	16,90	2,8	378,4	62,65	46,12	7,64
	880	29,17	4,93	130,3	22,03	16,25	2,75	370,5	62,68	44,96	7,61
	950	18,60	3,15	118,1	20,00	15,52	2,63	431,8	73,12	6,490	1,10
N	720	0,969	8,86	3,902	35,69	0,319	2,92	5,171	47,30	0,572	5,24
	800	1,105	10,66	2,229	22,18	0,840	8,1	6,095	58,79	0,028	0,27
	880	0,938	9,02	2,297	22,08	0,421	4,05	6,695	64,35	0,053	0,51
	950	0,682	6,78	2,592	25,77	0,470	4,68	6,308	62,71	0,006	0,06
P	720	0,088	10,95	0,321	39,97	0,024	2,94	0,367	45,65	0,004	0,50
	800	0,099	12,71	0,183	23,44	0,063	8,06	0,436	55,79	0,000	0,00
	880	0,092	12,03	0,164	21,43	0,065	8,56	0,437	57,14	0,006	0,83
	950	0,078	12,47	0,169	27,24	0,062	9,96	0,313	50,32	0,000	0,00
K	720	0,833	5,57	4,526	30,29	0,349	2,33	4,097	27,41	5,141	34,4
	800	1,069	7,23	2,791	18,88	0,893	6,04	7,329	49,58	2,700	18,27
	880	1,003	6,89	2,902	19,93	0,544	3,73	8,041	55,21	2,075	14,24
	950	0,577	3,40	3,166	18,36	0,5	2,95	12,12	71,43	0,653	3,85

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

O amadurecimento dos frutos em temperaturas menores é retardado por, geralmente, requererem mais calor para este processo do que o necessário para o crescimento das partes vegetativas da planta (LARCHER, 2004). Além de influenciar nos processos de amadurecimento, a temperatura também pode alterar a taxa de transporte de nutrientes, assim como, a partição de fotoassimilados no floema. Segundo Taiz; Zeiger (2004) o resfriamento de um tecido-dreno inibe as atividades que necessitam de energia metabólica e resulta na diminuição da velocidade do transporte em direção ao dreno. De acordo com Rena; Maestri (1985), a temperatura ótima para assimilação de CO₂ pelo cafeeiro varia de 20 a 30° C, dependendo da temperatura em que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores.

A taxa de absorção de íons minerais da solução do solo pelas raízes é menor em temperaturas menores. A elevação da temperatura aumenta a velocidade de difusão e de fluxo em massa de íons para as raízes, a penetração de íons no espaço livre aparente via apoplasto, estimula a

absorção e o acúmulo de íons nas células das raízes e favorece o transporte nos condutos do xilema. Além disso, o aumento da temperatura acelera a atividade respiratória da planta, incrementa o metabolismo nas raízes e a produção de ATP, liberando energia, que é utilizada de diversos modos para a absorção de íons (MARENCO; LOPES, 2005).

De modo geral, não se observou uma resposta padrão da variação na concentração de NPK nas folhas no 3° e 4° pares à mudança de altitude (Figura 2; Tabela 10). Na altitude de 720 m a concentração foliar de N e K apresentou-se superior comparado as demais altitudes. É possível que na altitude de 720 m as maiores temperaturas (Tabela 4) possam ter contribuído para uma maior taxa de absorção destes elementos nesta altitude (MARENCO; LOPES, 2005). Além disso, na altitude de 720 m foi observada menor produtividade em relação às demais altitudes (Tabela 1), sendo assim, pode ter havido menor remobilização destes nutrientes das folhas para os frutos.

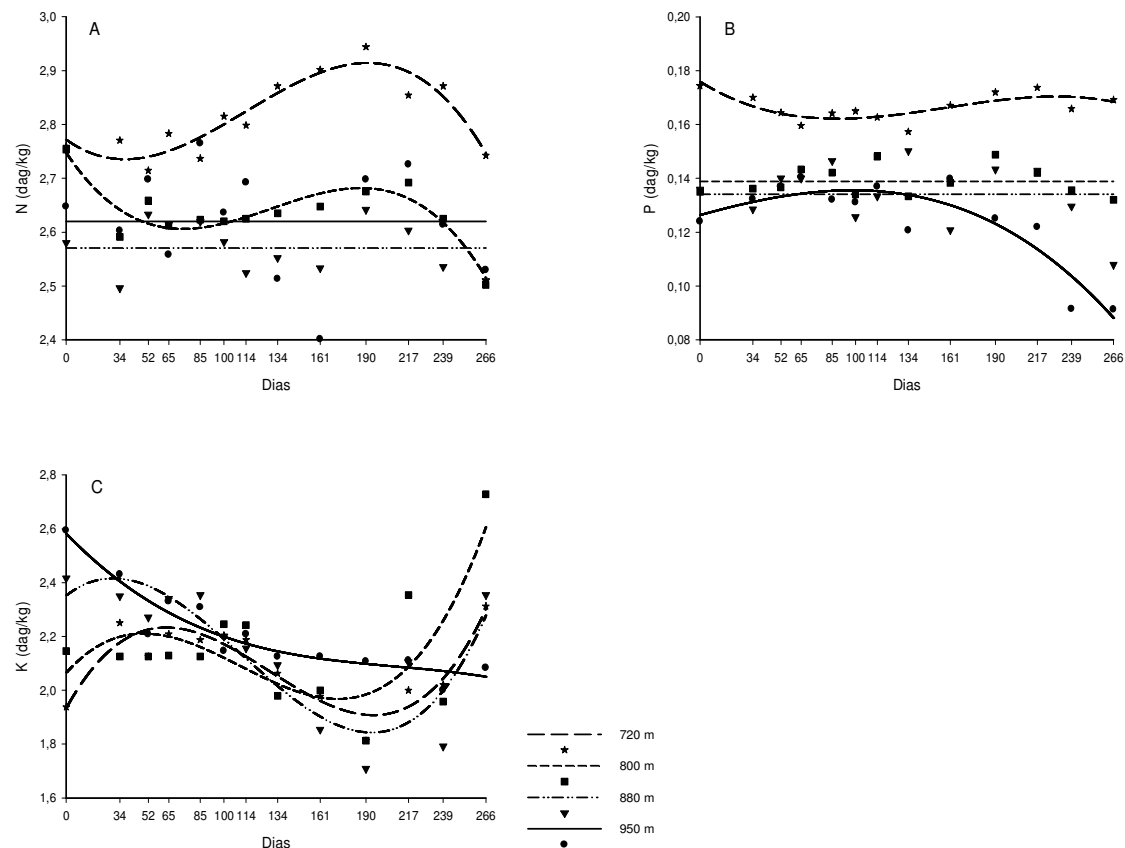


Figura 2. Variação na concentração de N (A), P (B) e K (C) em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes.

Tabela 10. Equações de regressão da variação nas concentrações de N, P e K em folhas de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes, ponto de mínimo (X_{min} , dias) e máximo (X_{max} , dias)

Variável	Altitude (m)	Modelo	R ²	X _{min}	X _{max}
N	720	$\hat{y} = 2,771-0,00208x+0,0000335x^2-0,0000000980x^3$	0,851	37	191
	800	$\hat{y} = 2,746-0,00438x+0,0000414x^2-0,000000106x^3$	0,837	266	0
	880	$\hat{y} = y = 2,571$	---	---	---
	950	$\hat{y} = y = 2,621$	---	---	---
P	720	$\hat{y} = 0,175-0,000356x+0,00000280x^2-0,00000000590x^3$	0,611	88	0
	800	$\hat{y} = y = 0,138$	---	---	---
	880	$\hat{y} = y = 0,134$	---	---	---
	950	$\hat{y} = 0,126+0,000161x-0,000000423x^2-0,00000000272x^3$	0,814	266	98
K	720	$\hat{y} = 1,935+0,0105x-0,000111x^2+0,000000287x^3$	0,857	190	266
	800	$\hat{y} = 2,065+0,00655x-0,0000861x^2+0,000000259x^3$	0,537	172	266
	880	$\hat{y} = 2,353+0,00448x-0,0000872x^2+0,000000260x^3$	0,763	193	30
	950	$\hat{y} = 2,580-0,00604x+0,0000265x^2-0,0000000424x^3$	0,890	266	0

Pode-se observar que após a estabilização no acúmulo de N e P (Figura 1B e C) ocorreu

redução na concentração foliar destes nutrientes (Figura 2A e B). Por outro lado, o acúmulo de K nos

frutos (Figura 1D) perdurou até a última amostragem, sendo observado também aumento nas concentrações foliares deste nutriente na mesma época (Figura 2C). É possível que algum sinalizador possa atuar junto aos sistemas de transportes presentes no sistema radicular estimulando a absorção de certo nutriente (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Estes sinalizadores podem ser fitormônios, pH da seiva do xilema ou mesmo nutrientes minerais (EPSTEIN; BLOOM, 2006; SENTENAC; GRIGNON, 1985).

De modo geral, observou-se aumento nas concentrações foliares de N e K na altitude de 720 m em relação ao início do ciclo (Tabela 11). Isto indica que o suprimento no solo e a taxa de absorção de N e K pelas raízes nesta altitude foram suficientes para suprir as demandas dos frutos e das folhas. Já para P, nesta mesma altitude, não foram observadas variações muito significativas nas

Na Tabela 11 pode-se observar as concentrações foliares de macronutrientes em ramos produtivos na floração (início do período reprodutivo) comparado as concentrações foliares de macronutrientes nos respectivos momentos da taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) para os frutos nos estádios de rápida expansão e granação. Assim como verificado na Figura 2, não foi possível observar um efeito padrão da altitude sobre as variações nas concentrações foliares comparadas ao início do ciclo reprodutivo.

concentrações foliares comparado ao início do período reprodutivo. Para K, com exceção na altitude de 950 m, observou-se uma tendência de haver maior competição folha/fruto pelo nutriente no estágio de granação nos momentos das TMAD nos frutos. Isto indica que é no estágio de granação o período mais crítico em relação à nutrição com K ao cafeeiro.

Tabela 11. Concentrações foliares de macronutrientes na floração (C_F) comparada às concentrações foliares no momento da TMAD dos elementos para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação-maturação (C_{GM}) em quatro altitudes.

Variável	Altitude (m)	Florecimento (dag.kg ⁻¹)	Crescimento Rápido		Granação.-Maturação	
			dag.kg ⁻¹	$C_{ER} - C_F$	dag.kg ⁻¹	$C_{GM} - C_F$
N	720	2,771	2,784	+0,013	2,858	+0,087
	800	2,746	2,609	-0,137	2,672	-0,073
	880	2,571	2,571	0	2,571	0
	950	2,621	2,621	0	2,621	0
P	720	0,175	0,162	-0,012	0,166	-0,008
	800	0,138	0,138	0	0,138	0
	880	0,134	0,134	0	0,134	0
	950	0,126	0,135	+0,009	0,127	+0,001
K	720	1,935	2,198	+0,263	2,303	+0,368
	800	2,065	2,153	+0,088	1,999	-0,066
	880	2,353	2,287	-0,066	1,935	-0,418
	950	2,580	2,237	-0,066	2,050	-0,530

CONCLUSÕES

Após o estudo das curvas de acúmulo de nutrientes em frutos e sua comparação com as variações em folhas de ramos reprodutivos em quatro altitudes é possível concluir que:

A altitude influenciou na extensão do ciclo reprodutivo do cafeeiro, bem como no acúmulo de N, P e K em frutos.

A TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) no estágio de granação-maturação apresentou tendência de ser mais tardia com elevação da altitude.

Independentemente da altitude, os maiores ganhos de acúmulo de MS, N, P e K foram observados no estágio de granação-maturação do fruto.

Na menor altitude o acúmulo de N, P e K em frutos apresentou-se mais precoce.

Nas condições experimentais, a adubação do cafeeiro com NPK deve começar tão logo inicie o estágio de expansão rápida do fruto, porém, em menor proporção comparada ao estágio de granação-maturação do fruto.

O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como, o enchimento de grãos é mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar estes processos em menor espaço de tempo.

De modo geral, a altitude influenciou na variação das concentrações foliares de NPK, apesar de não se ter observado uma resposta padrão da concentração foliar ao aumento da altitude.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC) por nos

ceder a área experimental, bem como, por todo apoio durante a execução do experimento.

ABSTRACT: There was studied the accumulation of DM, N, P and K in fruits of arabic coffee plant the period comprehended among the anthesis and the maturation in four altitudes, as well as, the variation of these contents in leaves of the productive branches. The experiment was constituted of the coffee plant variety (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivated at 720, 800, 880 and 950 m high, in the municipal district of Martins Soares-MG. The experimental design was entirely randomized with 3 repetitions using split-plot in time scheme. The high above the sea level of the crop location influenced in the reproductive cycle of the coffee plant, providing larger time for the formation of the fruits. In the fast expansion stadium the percentage of accumulation of DM and NPK were larger in the 720 m high crop, compared, mainly to the 950 m high crop. The DMAR (daily maximum accumulation rate) at the hardening-maturation stadium presented tendency of being reached latter with the elevation of the high. In general, the high influenced the variation of the leave nutrient contents. Besides that there was not observed a standard pattern in that variation. In agreement with the experimental results, it was verified that the demand of N, P and K is relatively high already in the stadium of fast expansion of the fruit, although the phase of larger demand has been the hardening-maturation phase.

KEYWORDS: Plant physiology. *Coffea arabica* L.. Mineral nutrition. Temperature.

REFERÊNCIAS

- ASTOLFI, P. T.; PEDROSO, P. A. C.; CARVALHO, N. M.; SADER, R. Maturação de sementes de café (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). **Científica**. Joticabal, v. 9, p. 289-294, 1981.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73 - 85, 1974.
- BREMNER, J. M. Total nitrogen. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 1149-1178.
- CAMARGO, A. P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, v. 11, p. 13-26, 1985.
- CAMARGO, A. P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 24. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998, p. 41-42.
- CANNEL, M. G. R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. PartIV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v. 36, p. 175-180, 1971.
- CARVALHO, C. H. S. de; RENA, A. B.; PEREIRA, A. A.; CORDEIRO, A. T. Relação entre produção, teores de N, P, Ca, Mg, amido e seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília: v. 28, n. 6, p. 665-673, 1993.
- CARVALHO, C. H. S.; ALMEIDA, G. R. R.; MENDONÇA, J. M. A.; GARCIA, A. L. A.; SOUZA, T. Partição de matéria seca em cinco genótipos de café durante a época de formação dos frutos. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. **Anais...** Guarapari-ES: 31, 2005, p. 67-68.
- COOMBE, B. G. The development of fleshy fruits. **Annual Review Plant Physiology**. v. 27, p. 507-528, 1976.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora planta, 2006, 401 p.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ V., V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B., LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C. Cafeeiro. 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. 289-302.

HARRIS, J. G. V. R. S.; SIMON, B. A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **The American Physiological Society**. p. 389-395, 1998.

JACSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1958. 498 p.

JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, v. 766, 1959, p. 32-33.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004, 4531 p.

LAVIOLA, B. G. **Dinâmica de macronutrientes em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação**. 2004, 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

LEON, J.; FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**. n. 12, p. 65-74, 1962.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005, 451p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA /PROCAFE, 2005, 438p.

PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação**. 1975, 35f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1975.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de cafee Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, v. 26, n. 1, p. 33-42. 2002.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

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.

SENTENAC, H.; GRIGNON, C. Effect of pH on Orthophosphate Uptake by Corn Roots. **Plant Physiology**, v. 77, p. 136-141, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.