

# Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados

Herminia Emilia Prieto Martinez<sup>1\*</sup>, Humberto Silva Augusto<sup>1</sup>, Cosme Damião Cruz<sup>2</sup>, Adriene Woods Pedrosa<sup>1</sup> e Néelson Ferreira Sampaio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. <sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Porto Velho, Rondônia, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: herminia@ufv.br

**RESUMO.** No adensamento de plantio, ocorrem alterações fisiológicas no comportamento das plantas. Com o objetivo de compreender tais alterações, avaliaram-se os caracteres morfo-vegetativos das cultivares IAC 44, IAC 99, MG 1192, Katipó, MG 6851 e UFV 3880 nos espaçamentos de plantio 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m entre linhas, e 0,75 m entre as plantas. O experimento foi realizado em esquema fatorial 4 (espaçamentos) x 6 (cultivares de café) com 6 repetições, em delineamento de blocos ao acaso. Aos 20 e 33 meses, avaliaram-se altura de planta, diâmetro máximo da copa, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos, índice de área foliar e produção por planta nas duas primeiras colheitas. Obtiveram-se correlações desses caracteres com as produções através da análise de trilha. Aos 20 meses, as características vegetativas da planta não foram influenciadas pelos espaçamentos, enquanto aos 33 meses observou-se aumento da altura de planta com a redução do espaçamento. Concluiu-se que as características vegetativas do cafeeiro explicaram de maneira satisfatória a variação na produtividade.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L., plantio adensado, crescimento vegetativo, análise de trilha.

**ABSTRACT.** *Vegetative growth of the coffee plant (Coffea arabica L.) and its correlation with the production in narrower spacing.* In density plantings, morphological and physiological changes occur in coffee plants. Aiming at understanding such changes, morpho-vegetative characters of the cultivars IAC 44, IAC 99, MG 1192, Katipó, MG 6851 and UFV 3880 were evaluated at different spacings between the rows (1.0; 1.5; 2.0 and 2.5 m) and at a 0.75 m spacing between the plants. The plots consisted of 4 rows of 4.50 m length. The experiment was carried out in a factorial 4 (spacings between rows) x 6 (cultivars) with 6 replications in a randomized block design. After 20 and 33 months of planting, the following aspects were evaluated: plant height, cup maximum diameter, stem diameter, plagiotropic branches number, leaf area index and plant yield. The data were submitted to correlation tests among vegetative characters and production by means of trail analysis. After 20 months, the evaluation showed that the vegetative characteristics of the plant were not influenced by spacing. After 33 months, the evaluation showed that plants were higher at shorter spaces between rows. Conclusion points that plant yield was well-explained by the growth characteristics of the plants.

**Key words:** *Coffea arabica* L., condensed system, vegetative growth, trail analysis.

## Introdução

Sob cultivos adensados, o cafeeiro desenvolve dossel com estrutura na qual a maioria das folhas recebe sombra moderada, distribuindo, sobre uma maior área de folhas, a radiação e a carga calorífica, as quais atingem a plantação (Barros *et al.*, 1995; Jamillo, 1996). Dessa forma, as temperaturas foliares nos plantios adensados não atingem valores tão elevados quanto nos plantios tradicionais. Rena e Maestri (1986) relatam que as taxas fotossintéticas do cafeeiro, que são extremamente sensíveis às

temperaturas elevadas, variam de 0,7, em condições de campo, até 16,0 mg de CO<sub>2</sub> dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, em condições controladas, sendo consideradas baixas quando comparadas a outras plantas.

Nos plantios adensados, ocorrem também variações morfológicas e bioquímicas nas folhas, as quais aumentam a eficiência do aparelho fotossintético do cafeeiro. Akunda *et al.* (1979) observaram menor desenvolvimento cuticular nas folhas e aumento da área foliar de cafeeiros adensados, indicando maior eficiência na utilização

da energia luminosa. O peso e o volume foliares específicos, a densidade e a matéria seca das folhas diminuíram, revelando uma lâmina foliar mais delgada e porosa, o que está associado à maior taxa de difusão de gases. Além disso, verificaram uma pequena redução no teor das clorofilas totais nas folhas de cafeeiros adensados, embora tenha sido observado aumento no teor de clorofila b. Por sua vez, Taiz e Zeiger (1991) relatam que a clorofila b é a principal coletora de luz do fotossistema II e que o seu teor pode ser considerado um parâmetro de eficiência do aparelho fotossintetizante, indicando adaptação favorável nos plantios adensados.

Valência (1974) estimou que o índice de área foliar ótimo para a cultivar Caturra está próximo de 8, o qual pode ser alcançado aos 3 anos de idade (10000 plantas ha<sup>-1</sup>) ou aos 4 anos (5000 plantas ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, Arcila e Chaves (1995) não observaram, para cultivar Colômbia, diferenças entre os índices de área foliar, que também ficaram em torno de 8, aos 3 anos de idade (5000 e 10000 plantas ha<sup>-1</sup>).

Para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 44, no espaçamento de 1,75 x 0,75 m, Barros *et al.* (1997) encontraram índice de área foliar (IAF) de 4,19 e 7,71 aos 3 e 4 anos de idade, respectivamente. Cortés e Simón (1993) observaram que o IAF ótimo da cultivar Caturra ficou próximo a 20, aos 4 anos de idade (25000 plantas ha<sup>-1</sup>).

O auto-sombreamento provocado pelo adensamento altera o equilíbrio de reguladores de crescimento entre auxinas, giberelinas e citocininas, estimulando o crescimento do meristema apical (Taiz e Zeiger, 1991), fato confirmado por Nacif (1997), que verificou que, aos 2,5 anos de idade, plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 apresentaram aumento de cerca de 3 cm na altura da haste ortotrópica principal a cada redução de 0,75 m no espaçamento entre fileiras (3; 2,25 e 1,50 m), quando se adotou o espaçamento entre plantas de 1 m. Aos 4,5 anos, esse incremento já era de cerca de 9 cm. Rena *et al.* (1998) afirmam que esse aumento na altura se deve ao alongamento do entrenó e não ao aumento do número deles.

Nacif (1997) também observou que o diâmetro máximo da copa e o número de ramos plagiotrópicos não sofreram influência significativa do adensamento das ruas até aos 5 anos de idade. O diâmetro da base do caule diminuiu cerca de 0,75 e 1,60 mm, a cada redução de 0,75 cm no espaçamento entre fileiras, somente aos 3,5 e 4,5 anos de idade, respectivamente, indicando que essa variável começa a sofrer influência do espaçamento somente após o maior desenvolvimento da planta,

quando esta já se encontra em fase de produção. Segundo Guiscafré-Arrolaga e Gomes (1938), citados por Rena *et al.* (1998), o crescimento do diâmetro do caule é muito influenciado pelo desenvolvimento das raízes, sendo boa característica morfológica externa do cafeeiro indicativo de um bom sistema radicular. Matiello e Barros (1999) encontraram resultados semelhantes em relação à altura de plantas e ao número de ramos plagiotrópicos com a mesma cultivar aos 6 anos pós-plantio.

Nacif (1997) também verificou incrementos na altura e no diâmetro de copa e diminuição no diâmetro de caule, a partir dos 2,5 anos, sendo que a produtividade se correlacionou positivamente com o diâmetro da base do caule e negativamente com a altura da planta e com o diâmetro máximo da copa, indicando haver competição entre a primeira variável vegetativa e as duas últimas pela partição de carboidratos tanto como fonte de energia, como de material estruturante da planta. Os frutos constituem-se no dreno mais forte, seguidos pelas folhas novas, indicando que o crescimento em altura e em diâmetro de copa teriam força semelhante como dreno, sendo o diâmetro do caule o dreno mais fraco (Maestri e Barros, 1977).

Estudos sobre o desdobramento do coeficiente de correlação podem ser feitos pela análise de trilha, que consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, nas quais as variáveis são previamente padronizadas. Apesar de a correlação ser uma característica intrínseca a dois caracteres em dada condição experimental, sua decomposição depende do conjunto de caracteres estudados, normalmente avaliados previamente pelo pesquisador por suas importâncias e possíveis inter-relações expressas em "diagramas de trilha" (Cruz e Regazzi, 1997).

Este trabalho objetivou verificar o comportamento dos caracteres morfo-vegetativos de diferentes cultivares de café em espaçamentos adensados. Realizou-se o desdobramento das correlações desses caracteres com a produtividade através da análise de trilha para verificar quais os mais determinantes na variação da produtividade.

## Material e métodos

Mudas de 6 cultivares de *Coffea arabica* L. foram plantadas em covas de 0,30 x 0,30 x 0,40 m, na Unidade de Difusão de Tecnologia em Café, no município de Ervália, Estado de Minas Gerais, em março/abril de 1996, em um solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sendo 4 cultivares

comerciais: Catuaí Vermelho IAC-44 (IAC-44) e Catuaí Vermelho IAC-99 (IAC-99), Catuaí Rubi MG-119 (MG-11922) e Oeiras MG-6851 (MG-6851) e 2 cultivares experimentais: Katipó e Catimor UFV-3880 (UFV-3880).

Antes da instalação do experimento, procedeu-se a uma calagem em área total, conforme o critério da Saturação de Bases, proposto pela CFSEMG (1989), com posterior incorporação do calcário com arado. A adubação de plantio constou de uma mistura de 200 g de Fosfato Natural de Araxá mais 50 g de Superfosfato Simples por cova. Foram aplicadas, ainda, 2 L de esterco de curral por cova, superficialmente, aos 15 dias após o plantio.

O experimento foi instalado em esquema fatorial 6 (cultivares) x 4 (espaçamentos entre linhas) com 6 repetições, em delineamento experimental de blocos ao acaso. As parcelas foram constituídas de 4 fileiras de 4,50 m de comprimento, espaçadas de 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 m, de acordo com o tratamento. O espaçamento entre plantas dentro da linha foi fixado em 0,75 m, totalizando 24 plantas por parcela. Foi considerada área útil da parcela aquela ocupada por 4 plantas competitivas (plantas sem falhas ao redor e com bom vigor) entre as 8 plantas centrais.

As adubações de cobertura foram realizadas conforme a recomendação de Matiello *et al.* (1994), complementadas com adubações foliares com micronutrientes (Zn, B e Cu), até a primeira colheita. A partir daí, a adubação foi feita por módulos, com base na carga pendente, de acordo com Malavolta (1996).

Avaliaram-se aos 20 e 33 meses: altura da planta (cm) em relação à superfície do solo (altura da haste ortotrópica primária); o diâmetro máximo da copa (cm); a relação entre altura de planta e o diâmetro máximo da copa; o diâmetro do caule a 5 cm da superfície do solo (mm); o número de ramos plagiotrópicos e o índice de área foliar (IAF).

O IAF foi estimado conforme Barros (1972), sendo cada planta dividida visualmente em 4 partes (superior, média superior, média inferior e inferior); de cada uma das partes, tomou-se um ramo e de cada ramo uma folha na parte mediana deste; e procedeu-se à medição da área foliar, segundo a fórmula:

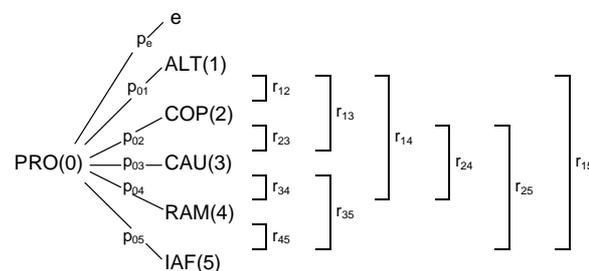
$$\text{Área foliar} = \text{Comprimento} \times \text{largura} / 0,677$$

A área de cada folha foi multiplicada pelo número de folhas de cada ramo. Em seguida, somou-se esse produto de cada uma das partes e dividiu-se o valor por 4, encontrando-se o valor médio da área foliar por ramo. Multiplicou-se esse

valor pelo número total de ramos, obtendo-se a área foliar total de cada planta.

Avaliou-se ainda a produção média de grãos por planta, na primeira e segunda colheitas realizadas no período de março a junho dos anos agrícolas de 1998 e 1999. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Realizou-se também a análise de trilha para cada espaçamento, com a finalidade de verificar quais características vegetativas influenciam mais na produtividade em cada um dos espaçamentos entre linhas, nas duas primeiras colheitas.

Antes, porém, a matriz de correlação entre as 5 variáveis explicativas (altura de planta, diâmetro de copa, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos e IAF) foi submetida à avaliação de problemas proporcionados pela multicolinearidade. Detectada a existência do problema, fez-se a análise de regressão em crista, adicionando-se uma constante *k* na diagonal da matriz de correlação (Cruz, 1997). Para o cálculo das equações de regressão múltipla, foi retirada a variável IAF, que, com frequência, apresentou correlações elevadas (maiores que 0,80) com outras variáveis. Os cálculos foram realizados utilizando-se o Programa Genes – aplicativo computacional em genética e estatística (Cruz, 1997), seguindo o seguinte diagrama causal:



PRO(0) = produção; ALT(1) = altura de planta; COP(2) = comprimento da copa; CAU(3) = diâmetro de caule; RAM(4) = número de ramos plagiotrópicos; IAF(5) = índice de área foliar; e = erro; P<sub>0i</sub> = efeito direto do erro sobre a produção; P<sub>0i</sub> = efeito direto da *i*-ésima característica vegetativa sobre a produção; r<sub>ij</sub> = correlação entre a *i*-ésima e *j*-ésima variáveis vegetativas.

## Resultados e discussão

Aos 20 meses após o plantio, não foram detectados, pela análise de variância, efeitos significativos dos espaçamentos nas características de crescimento avaliadas, exceto redução no IAF ( $Y=0,5347x^2 - 2,7888x + 4,4203$ ,  $R^2= 0,99$ ) com o aumento do espaçamento, indicando que o adensamento entre fileiras praticamente não interferiu na competição entre plantas, até essa idade (Tabela 1).

IAC 44 e MG 1192 foram as cultivares mais vigorosas, apresentando maior altura, diâmetro de copa, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos, enquanto a Catimor UFV 3880 mostrou-se inferior em todas as características avaliadas. A relação altura/diâmetro de copa, com valores mais baixos, parece ser indicativo de maior vigor, já que as cultivares com maiores valores das características de crescimento vegetativo (MG 1192 e IAC 44) apresentaram os menores valores dessa relação, provavelmente devido ao melhor equilíbrio entre o desenvolvimento do meristema apical e dos ramos plagiotrópicos (Tabela 1).

Aos 33 meses, as cultivares IAC 44 e MG 1192 continuaram sendo as mais vigorosas, apresentando maior altura, diâmetro máximo da copa, número de ramos plagiotrópicos primários e IAF. A cultivar Katipó, apesar de ter porte mais baixo, não diferiu dessas em relação ao diâmetro máximo da copa e ao IAF, mas apresentou diâmetro de caule superior, evidenciando bom vigor. A baixa relação altura/copa continuou sendo indicativa de bom vigor, uma vez que as 3 cultivares supracitadas apresentaram os menores valores dessa variável (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características vegetativas e produção de 6 cultivares de café aos 20 e 33 meses após o plantio em março/abril de 1996 no município de Ervália, Estado de Minas Gerais.

Cultivares	Características vegetativas aos 20 meses						Prod 98
	Alt.	Copa	Caule	Ramos	IAF	Alt/C	
IAC 44	46,4 a	53,5 a	13,8 ab	25,2 ab	1,57 a	0,87 c	84,0 ab
IAC 99	43,6 b	45,2 b	12,5 c	24,0 bc	1,30 ab	0,97 b	72,2 bc
MG 1192	45,0 ab	50,8 a	13,9 a	26,0 a	1,46 ab	0,89 c	75,4 bc
Katipó	43,7 b	45,9 b	13,7 ab	22,4 d	1,34 ab	0,96 b	69,5 bc
MG 6851	46,5 a	45,6 b	12,9 bc	23,5 cd	1,27 ab	1,04 a	96,4 a
UFV 3880	38,7 c	40,7 c	11,3 d	23,0 d	1,15 b	0,96 b	58,8 c
CV %	9,3	14,2	12,7	9,6	29,6	29,6	42,1

Cultivares	Características vegetativas aos 33 meses						Prod 99	P média
	Alt.	Copa	Caule	Ramos	IAF	Alt/C		
IAC 44	122,2 a	129,8 33,3 b	51,4 a	4,62 a	0,95 cd	301,8 a	192,9 a	
IAC 99	118,9 ab	121,6 31,9 c	48,8 b	3,94 b	0,98 abc	254,8 b	163,5 bc	
MG 1192	120,1 ab	128,8 34,3 b	52,7 a	4,44 a	0,94 d	303,5 a	189,5 ab	
Katipó	113,8 c	125,8 36,2 a	47,9 b	4,48 a	0,91 d	329,8 a	199,6 a	
MG 6851	116,2 bc	117,4 30,7 c	48,4 b	3,82 b	1,00 ab	311,6 a	204,0 a	
UFV 3880	113,3 c	111,2 30,8 c	47,2 b	3,78 b	1,02 a	267,4 b	148,1 c	
CV %	6,1	8,5	7,5	7,9	19,4	19,4	26,7	

Alt. – altura da planta (cm); Copa – diâmetro máximo da copa (cm); Caule – diâmetro do caule a 5 cm da superfície do solo (mm); Ramos – número de pares de ramos plagiotrópicos primários; IAF – índice de área foliar; Alt/C – relação entre altura de planta e diâmetro máximo de copa; Prod 98 – produção média por planta na primeira colheita (g); Prod 99 – produção média por planta na segunda colheita (g); P média – produção média das duas colheitas por planta (g); Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste Duncan em nível de 5% de probabilidade.

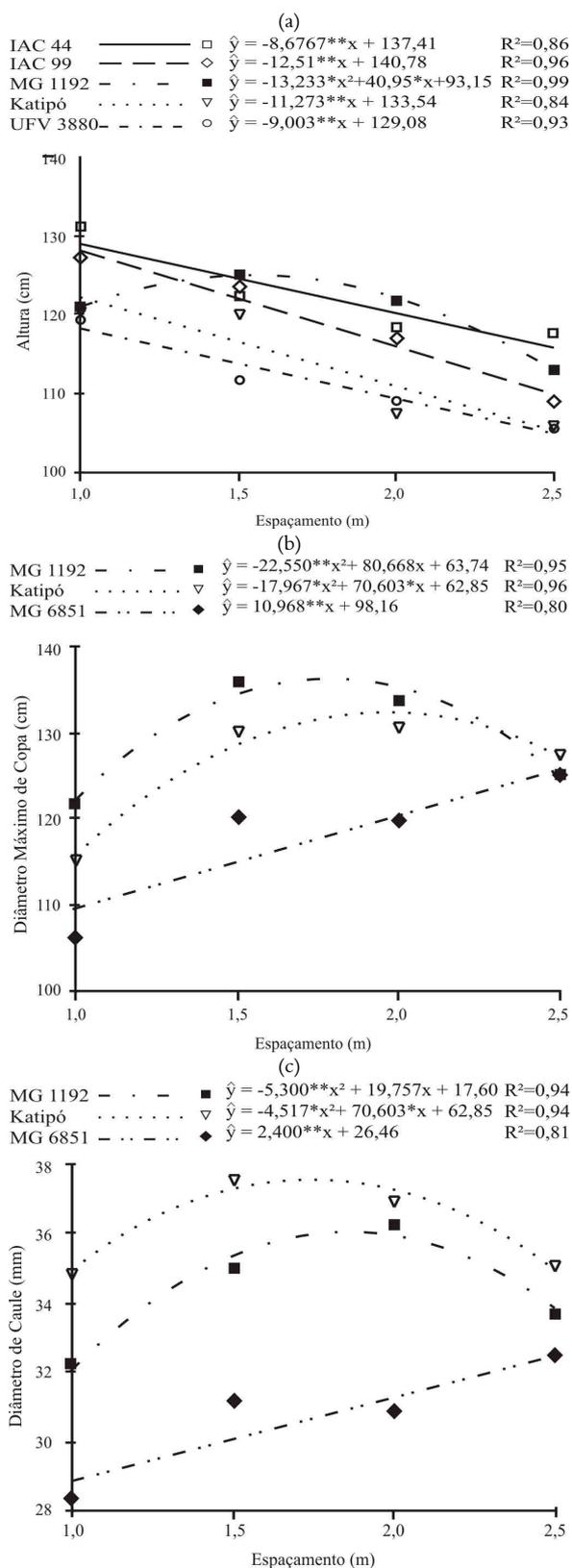
Nessa idade, o espaçamento influenciou significativamente todas as variáveis de crescimento avaliadas. As cultivares IAC 99 e Katipó tiveram acréscimos de cerca de 5,9 cm em média na altura, para cada 0,5 m de redução no espaçamento entre linhas. Foram seguidas por IAC 44 e UFV 3880, que apresentaram acréscimos de 4,4 cm na altura para a mesma variação no espaçamento. Esses resultados

concordam com os apresentados por Nacif (1997), que verificou aumento linear da altura com o adensamento entre linhas a partir dos 31,3 meses após o plantio, o que atribuiu ao efeito do auto-sombreamento. A cultivar MG 1192, porém, teve sua altura reduzida acentuadamente, cerca de 9,3 cm, quando o espaçamento passou de 2,0 para 2,5 m, enquanto a altura da cultivar MG 6951 não foi influenciada pelos espaçamentos adotados, apresentando altura média de  $\hat{y} = \bar{Y} = 116,2$  cm. Neste último caso, a estabilidade da altura, independentemente do espaçamento, pode ser uma característica favorável, uma vez que a energia que seria usada para o alongamento do entrenó pode passar a ser utilizada ou armazenada em outras partes da planta, ou usada para a produção de grãos (Figura 1a).

O diâmetro máximo da copa (Figura 1b), das cultivares IAC 44 ( $\hat{y} = \bar{Y} = 129,8$  cm), IAC 99 ( $\hat{y} = \bar{Y} = 121,63$  cm) e UFV 3880 ( $\hat{y} = \bar{Y} = 11,2$  cm) não foi influenciado significativamente pelos espaçamentos, concordando com os dados de Nacif (1997), nos quais essa variável não sofreu efeito de espaçamentos até os 55,7 meses de idade. Tal fato pode ser um indicativo da maior plasticidade dessas cultivares com relação ao espaçamento entre linhas. No entanto o diâmetro máximo de copa da cultivar MG 6851 diminuiu linearmente com o adensamento (5,5 cm para cada 0,5 m de redução no espaçamento entre linhas). As cultivares MG 1192 e Katipó, por sua vez, apresentaram maiores valores para essa variável nos espaçamentos 1,5 e 2,0 m. Para a cultivar MG 6851, no menor espaçamento, provavelmente, ocorreu uma inibição do crescimento dos ramos plagiotrópicos devido ao alto grau de sombreamento, concordando com o relatado por Cassidy e Kumar (1984). Para a cultivar MG 1192, no maior espaçamento, a redução observada pode ser devida ao excesso de insolação e de temperatura, os quais prejudicaram o desenvolvimento do meristema apical, indicando, portanto, uma maior sensibilidade dessa cultivar a elevadas temperaturas. Rena e Maestri (1986) mencionam a existência de grandes diferenças nas taxas de fotossíntese líquida entre os germoplasmas de café em temperaturas mais elevadas.

A cultivar MG 6851 mostrou-se bastante favorável ao adensamento, pois sua altura não foi influenciada e o comprimento dos seus ramos plagiotrópicos diminuiu nos menores espaçamentos (Tabela 1 – Figura 1). Essas alterações podem facilitar consideravelmente os tratos culturais e a colheita em lavouras adensadas.

O diâmetro de caule das cultivares IAC 44 ( $\hat{y} = \bar{Y} = 33,3$  mm), IAC 99 ( $\hat{y} = \bar{Y} = 31,9$  mm) e



**Figura 1.** Altura de plantas (a), diâmetro máximo de copa (b), diâmetro de caule (c) de variedades de café (*Coffea arabica* L.) aos 33 meses após o plantio, em função de espaçamento entre as fileiras.

UFV 3880 ( $\hat{y} = \bar{Y} = 30,8$  mm) não foi influenciado significativamente pelos espaçamentos, concordando com Nacif (1997), que observou que o diâmetro de caule da cultivar IAC 44 só sofreu influência de espaçamentos a partir dos 43,5 meses de idade. Para a cultivar MG 6851, essa variável apresentou um efeito linear crescente com o aumento do espaçamento (1,2 mm para aumentos de 0,5 m no espaçamento) e as cultivares MG 1192 e Katipó tiveram maior diâmetro de caule nos espaçamentos 1,5 e 2,0 m, confirmando que esses são os melhores espaçamentos para estas cultivares (Figura 1c).

O número de ramos plagiotrópicos primários foi influenciado pelos espaçamentos somente para a cultivar IAC 99 ( $Y = -3,847**x + 55,52$ ,  $R^2 = 0,84$ ), aumentando cerca de 2 ramos a cada 0,5 m de adensamento. Apesar disso, de modo geral, os dados concordam com os apresentados por Matiello e Barros (1999) e por Nacif (1997), uma vez que em nenhuma das outras cultivares houve efeito significativo, e com Rena *et al.* (1998), os quais afirmam que a alteração na altura da planta não é provocada pelo aumento do número de entrenós, mas sim pelo alongamento deles.

A relação entre o IAF e os espaçamentos aos 33 meses foi semelhante à observada aos 20 meses para a maioria das cultivares à exceção das cultivares MG 1192 e Katipó, que apresentaram aumento linear dessa variável com o adensamento, indicando certo ajuste de sua área foliar à condição de cultivo, já que o aumento observado não foi diretamente proporcional ao aumento do estande. Os valores do IAF obtidos no espaçamento 1,00 x 0,75 m aos 33 meses (13333 plantas  $ha^{-1}$ ) variaram de 6,0 a 7,8, o que está muito próximo do IAF = 8 considerado ótimo por Valência (1974) e alcançado aos 3 anos com estande de 10000 plantas. $ha^{-1}$ . Esse valor também é próximo ao IAF de 7,7, alcançado aos 4 anos pela cultivar IAC 44, com estande de 7619 plantas  $ha^{-1}$ , referido por Barros *et al.* (1997). Esses valores de IAF justificam as produtividades obtidas e indicam que se pode adensar ainda mais objetivando alcançar produtividades máximas já na segunda colheita. (Tabela 1).

A análise de trilha indica que, na primeira colheita, a altura foi o caráter vegetativo determinante da produtividade em todos os espaçamentos, uma vez que os valores dos coeficientes de correlação e dos efeitos diretos dessa variável foram altos e com o mesmo sentido (Tabela 2), mostrando que, quanto mais alta a planta, maior a produtividade. No espaçamento de 1,0 m, houve efeito direto do diâmetro de caule relativamente alto e negativo. Isso indica que, fixando todas as outras

**Tabela 2.** Efeitos direto e indireto das variáveis explicativas (altura de planta, diâmetro máximo da copa, diâmetro de caule, número de ramos plagiotrópicos e índice de área foliar), sobre a variável principal produtividade da primeira colheita (1998), em 6 cultivares de café, em 4 espaçamentos entre fileiras.

Variável	Efeito	Espaçamentos (m)			
		1,0	1,5	2,0	2,5
Altura	Direto	1,1945	0,6736	1,3628	0,6033
	Indireto via copa	0,0447	0,2115	-0,4912	0,1430
	Indireto via Caule	-0,6213	-0,0928	0,0467	0,0255
	Indireto via ramo	0,0544	-0,2189	0,2241	-0,0033
	Indireto via IAF	-0,1083	0,2437	-0,7255	0,1585
	Total	0,6455**	0,8730**	0,5158**	0,9734**
Copa	Direto	0,0670	0,3460	-0,5346	0,1822
	Indireto via copa	0,7963	0,4190	1,2523	0,4734
	Indireto via Caule	-0,5039	-0,1224	0,0450	0,0317
	Indireto via ramo	0,1412	-0,4418	0,2851	-0,0060
	Indireto via IAF	-0,3102	0,3917	-0,8038	0,2031
	Total	0,1952	0,6198**	0,2022	0,8984**
Caule	Direto	-0,7902	-0,1555	0,0481	0,0338
	Indireto via copa	0,9392	0,4018	1,3234	0,4549
	Indireto via Caule	0,0427	0,2729	-0,4999	0,1708
	Indireto via ramo	0,0522	-0,2306	0,2060	-0,0054
	Indireto via IAF	-0,1131	0,519	-0,7425	0,1881
	Total	0,0771	0,6284**	0,3385**	0,8446**
Ramo	Direto	0,2231	-0,4978	0,4033	-0,0071
	Indireto via copa	0,2910	0,2962	0,7573	0,2799
	Indireto via Caule	0,0424	0,3078	-0,3739	0,1530
	Indireto via ramo	-0,1847	-0,0721	0,0246	0,0259
	Indireto via IAF	-0,3485	0,3159	-0,5903	0,1522
	Total	0,2155	0,3117	0,2505	0,6033**
IAF	Direto	-0,3485	0,3991	-0,8131	0,2089
	Indireto via copa	0,3714	0,4113	1,2160	0,4578
	Indireto via Caule	0,0596	0,3404	-0,5285	0,1772
	Indireto via ramo	-0,2565	-0,1372	0,0440	0,0305
	Indireto via IAF	0,1100	-0,3940	0,2928	-0,0052
	Total	0,2155	0,6402**	0,1526	0,8847**
Valor de k		0,0683	0,0768	0,0726	0,0768
R <sup>2</sup>		0,8018	0,8095	0,5881	0,9601
Efeito Residual		0,4452	0,4365	0,6418	0,2000
Determinante		0,0440	0,1227	0,0037	0,0091

\*e\*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

variáveis, o aumento do diâmetro do caule compete com a produtividade na primeira colheita, concordando com Nacif (1997). Comportamento semelhante foi constatado para o diâmetro máximo da copa com relação ao IAF no espaçamento de 2,0 m, mostrando que, nessa idade, já começava a haver

uma competição diferenciada e dependente do espaçamento entre os componentes do crescimento vegetativo (Tabela 2).

Os valores altos dos coeficientes de correlação das variáveis diâmetro de copa, diâmetro de caule e IAF, nos espaçamentos de 1,5 e 2,5 m, e o número de ramos plagiotrópicos no espaçamento de 2,5 m, são devidos mais ao efeito indireto da altura do que aos efeitos diretos dessas variáveis (Tabela 2).

Na análise de trilha da primeira colheita no espaçamento de 1 m, a combinação das variáveis altura de planta, diâmetro máximo da copa, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos (modelo Y1;1,0) explicaram quase que totalmente a variação na produtividade de grãos ( $R^2 = 0,99$ ). Dessas variáveis, a altura de plantas foi considerada o efeito-causa principal pela análise de trilha, uma vez que, retirando-se essa variável, o  $R^2$  passou para 0,05 (Y5;1,0). Deve-se considerar ainda o efeito do diâmetro de caule que impôs restrições sobre a primeira variável, pois, retirando o diâmetro de caule do modelo, o  $R^2$  passou para 0,64 (Y3;1,0). A combinação dessas duas variáveis (Y7;1,0) explicou 0,90 da variação na produtividade de grãos (Tabela 3).

Para o espaçamento de 1,5 m, a combinação das 4 variáveis explicativas apresentou multicolinearidade. Entre as outras três combinações possíveis com 3 variáveis explicativas, a que proporcionou maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,89$ ) foi o modelo Y2;1,5, incluindo-se as variáveis altura de planta, diâmetro máximo da copa e número de ramos plagiotrópicos (Tabela 3). Entre as combinações com apenas duas variáveis, nenhuma explicou a variação na produtividade satisfatoriamente, uma vez que os coeficientes de determinação daquelas variaram entre 0,40 e 0,78 e a variável altura de planta sozinha explicou cerca de 0,76 (Tabela 3).

Para o espaçamento de 2 m, a única combinação entre 3 variáveis que não apresentou problemas com multicolinearidade foi entre altura de plantas, diâmetro máximo da copa e número de ramos plagiotrópicos, explicando cerca de 0,92 da variação na produtividade de grãos (modelo Y1;2,0). O modelo com 2 variáveis que apresentou maior coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,74$ ) foi o da combinação entre altura de plantas e diâmetro máximo da copa (Y2;2,0). O efeito do diâmetro máximo da copa é que impôs restrições ao efeito da primeira variável, indicando competição entre essas variáveis pela partição de carboidratos (Tabela 3).

No espaçamento de 2,5 m, a combinação das 4 variáveis (modelo Y1;2,5) explicou quase que totalmente a variação na produtividade ( $R^2 = 0,99$ ).

Todos os outros modelos que continham a variável altura de planta apresentaram coeficiente de determinação superior a 0,98, uma vez que essa variável sozinha explicou cerca de 0,95 da variação da produtividade. As outras três variáveis juntas explicaram 0,88 (Y5;2,5) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Equações de regressão linear múltipla, calculadas pela análise de trilha, para produtividades da primeira e segunda colheitas (1998 e 1999) de 6 cultivares de café, em 4 espaçamentos entre fileiras, em função da altura de plantas, diâmetro máximo da copa, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos.

Produtividade Estimada na Primeira Colheita									
	Y1;	Y2;	Y3;	Y4;	Y5;	Y6;	Y7;	Y8;	Y9;
Espaçamento de 1,0 (m)									
Altura	1,704	1,621	1,080	1,514	---	0,928	1,532	0,630	---
Copa	-0,533	-0,205	-0,824	---	0,130	-0,423	---	---	---
Caulé	-1,010	-1,067	---	-1,140	-0,039	---	-1,128	---	---
Ramos	0,374	---	0,474	0,113	0,142	---	---	0,062	---
R <sup>2</sup>	0,99	0,92	0,64	0,91	0,05	0,52	0,90	0,42	---
Espaçamento de 1,5 (m)									
Altura	0,768	0,652	0,809	0,795	0,773	0,912	---	---	---
Copa	0,210	0,904	---	0,125	---	---	0,329	1,617	---
Caulé	0,153	---	0,211	---	0,167	---	0,369	---	0,616
Ramos	---	-0,778	-0,142	---	---	-0,089	---	-1,123	0,026
R <sup>2</sup>	0,780	0,89	0,80	0,77	0,78	0,77	0,44	0,65	0,40
Espaçamento de 2,0 (m)									
Altura	2,476	2,120	0,545	---	---	---	---	---	---
Copa	-2,518	-1,746	---	-0,910	0,053	---	---	---	---
Caulé	---	---	---	1,189	---	0,285	---	---	---
Ramos	0,636	---	-0,052	---	0,213	0,105	---	---	---
R <sup>2</sup>	0,93	0,74	0,27	0,22	0,06	0,12	---	---	---
Espaçamento de 2,5 (m)									
Altura	0,662	0,703	0,660	0,811	---	0,699	0,780	0,884	---
Copa	0,534	0,427	0,445	---	1,392	0,350	---	---	---
Caulé	-0,093	0,086	---	0,143	-0,064	---	0,256	---	---
Ramos	-0,081	---	-0,076	0,117	-0,516	---	---	0,193	---
R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,99	0,98	0,88	0,99	0,98	0,98	---
Produtividade Estimada na Segunda Colheita									
	Y1;	Y2;	Y3;	Y4;	Y5;	Y6;	Y7;	Y8;	Y9;
Espaçamento de 1,0 (m)									
Altura	-1,427	-1,707	-1,791	-1,460	---	-1,774	-0,675	-0,457	---
Copa	-0,087	1,367	1,449	---	-1,984	1,520	---	---	---
Caulé	1,111	0,161	---	1,065	1,740	---	0,544	---	---
Ramos	1,088	---	0,138	1,044	1,571	---	---	0,401	---
R <sup>2</sup>	0,99	0,80	0,79	0,99	0,56	0,78	0,46	0,32	---
Espaçamento de 1,5 (m)									
Altura	-0,285	---	---	---	---	---	---	---	---
Copa	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Caulé	0,893	---	---	---	---	---	---	---	---
Ramos	-0,295	---	---	---	---	---	---	---	---
R <sup>2</sup>	0,40	---	---	---	---	---	---	---	---
Espaçamento de 2,0 (m)									
Altura	0,428	---	0,137	0,404	-1,513	---	---	---	---
Copa	-0,066	0,730	0,775	---	---	0,459	0,675	---	---
Caulé	0,857	0,624	---	0,802	---	0,443	---	0,677	---
Ramos	---	0,393	---	---	2,090	---	0,263	0,417	---
R <sup>2</sup>	0,86	0,84	0,71	0,85	0,70	0,75	0,74	0,84	---
Espaçamento de 2,5 (m)									
Altura	0,305	0,967	---	0,100	0,517	0,693	---	---	---
Copa	0,939	0,914	1,188	0,821	---	---	1,044	1,048	---
Caulé	-0,438	---	-0,175	---	0,598	---	-0,199	---	0,687
Ramos	---	-0,775	-0,299	---	---	-0,168	---	-0,306	-0,059
R <sup>2</sup>	0,89	0,96	0,85	0,78	0,70	0,36	0,79	0,84	0,44

Y<sub>ij</sub> = modelo i do espaçamento j.

Na segunda colheita, percebe-se que o mesmo caráter vegetativo não foi o determinante da produtividade de grãos para todos os espaçamentos. No espaçamento de 1,0 m, a única variável com

correlação significativa com a produtividade foi a altura, que continuou a ser efeito-causa, porém com sinal negativo, mostrando que, quanto menor a altura, maior a produtividade e a competição entre o alongamento do entrenó e a produção de frutos. Esse fato comprova a característica favorável da cultivar MG 6851 de não aumentar sua altura com o adensamento, uma vez que a energia que seria usada para o alongamento do entrenó pode passar a ser utilizada para produção de grãos. O diâmetro de caule e o número de ramos plagiotrópicos apresentaram baixo coeficiente de correlação, mas demonstraram efeito direto relativamente alto e favorável à produtividade, ou seja, fixando-se todas as outras variáveis, com o aumento das duas a produtividade na segunda colheita também aumenta (Tabela 4).

No Tabela 3, verifica-se que a combinação das variáveis altura de planta, diâmetro de copa, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos (modelo Y1;1,0) explicaram quase que totalmente a variação na produtividade (R<sup>2</sup> = 0,99) no espaçamento de 1,0 m. Retirando-se a variável diâmetro máximo da copa (Y4;1,0), o coeficiente de determinação praticamente não se altera (R<sup>2</sup> = 0,99). A combinação entre duas variáveis explicativas com maior R<sup>2</sup> foi entre altura e diâmetro de copa (Y6;1,0), explicando cerca de 0,78 da variação na produtividade o que é de magnitude suficientemente boa.

No espaçamento de 1,5 m, a variável IAF aparentemente seria o efeito causa da variação na produtividade, porém essa variável sozinha explica apenas 28% da variação total da variável principal. O valor elevado da correlação da produção com o diâmetro de caule foi mais devido aos efeitos indiretos do diâmetro máximo da copa e do IAF que ao efeito direto daquela variável. O efeito direto da variável número de ramos plagiotrópicos foi o mais alto e em sentido contrário à produção. No espaçamento de 1,5 m, a única combinação entre três variáveis explicativas que não proporcionou problemas de multicolinearidade foi entre altura de planta, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos (Y1;1,5), porém não explicou de maneira satisfatória a variação da produtividade (R<sup>2</sup> = 0,40) (Tabela 3), o que está de acordo com o baixo R<sup>2</sup> geral de 0,56 para o espaçamento 1,5 m entre as fileiras, em contraste com R<sup>2</sup> geral > 0,81 dos demais espaçamentos.

O espaçamento de 2 m resultou em correlações significativas de todas as variáveis com a produtividade (Tabela 4), porém somente o efeito do diâmetro de caule foi considerado efeito-causa da variação na produtividade. Nesse espaçamento, as

**Tabela 4.** Efeitos direto e indireto das variáveis explicativas (altura de planta, diâmetro máximo da copa, diâmetro de caule, número de ramos plagiotrópicos e índice de área foliar), sobre a variável principal produtividade da segunda colheita (1999), em seis cultivares de café, em 4 espaçamentos entre fileiras.

Variável	Efeito	Espaçamentos (m)			
		1,0	1,5	2,0	2,5
Altura	Direto	-1,3528	-0,3425	0,1878	0,4770
	Indireto via copa	0,1396	0,6863	0,0878	0,1204
	Indireto via Caule	0,2819	0,1392	0,0487	0,1608
	Indireto via ramo	0,3773	-0,8918	0,3210	-0,3062
	Indireto via IAF	0,1662	0,4352	-0,2033	0,2476
	Total	-0,4570**	0,0089	0,4564**	0,5874**
	Copa	Direto	0,1609	0,7285	0,2128
Indireto via copa		-1,1733	-0,3227	0,0775	0,2834
Indireto via Caule		0,4102	0,1728	0,6351	0,1120
Indireto via ramo		0,4131	-0,9384	0,2024	-0,2667
Indireto via IAF		0,1611	0,5921	-0,3128	0,5347
Total		-0,0198	0,2696	0,8311**	0,8800**
Caule		Direto	0,7041	0,2217	0,7552
	Indireto via copa	-0,5417	-0,2150	0,0121	0,0563
	Indireto via Caule	0,0937	0,5678	0,1790	0,1665
	Indireto via ramo	-0,1350	-0,7496	0,1242	-0,2319
	Indireto via IAF	0,1167	0,6533	-0,2998	0,5221
	Total	0,2738	0,4897**	0,8287**	0,6586**
	Ramo	Direto	0,6825	-0,9860	0,3406
Indireto via copa		-0,7478	-0,3097	0,1770	0,2999
Indireto via Caule		0,0974	0,6933	0,1263	0,1110
Indireto via ramo		-0,1393	0,1685	0,2753	0,0649
Indireto via IAF		0,0981	0,6109	-0,2818	0,3123
Total		0,0259	0,1261	0,6636**	0,2677
IAF		Direto	0,1897	0,7284	-0,3743
	Indireto via copa	-1,1853	-0,2046	0,1020	0,2110
	Indireto via Caule	0,1367	0,5921	0,1778	0,1936
	Indireto via ramo	0,4330	0,1988	0,6049	0,1272
	Indireto via IAF	0,3530	-0,8270	0,2565	-0,2719
	Total	-0,0632	0,5250**	0,7383**	0,8579**
	Valor de k	0,0511	0,0511	0,0768	0,0683
R <sup>2</sup>	0,8135	0,5600	0,8380	0,8979	
Efeito Residual	0,4318	0,6633	0,4025	0,3195	
Determinante	0,0128	0,0024	0,0127	0,0126	

\*e\*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

combinações com 3 variáveis explicativas que não proporcionaram multicolinearidade (Tabela 3) foram entre altura de planta, diâmetro máximo da copa e diâmetro de caule (Y1;2,0, com R<sup>2</sup> = 0,86) e a combinação das duas últimas e número de ramos plagiotrópicos (Y2;2,0, com R<sup>2</sup> = 0,84). Retirando-se

a variável diâmetro máximo da copa do primeiro modelo, o coeficiente de determinação praticamente não se altera. Com apenas as variáveis altura de planta e diâmetro de caule (Y4;2,0) se explica cerca de 0,85 da variação na produtividade.

No espaçamento de 2,5 m, apenas a correlação entre a produção e o número de ramos plagiotrópicos não foi significativa (Tabela 4). O efeito-causa da variação parece ter sido o IAF, explicando cerca de 0,74 da variação. A altura de planta também parece ter contribuído com o aumento da produtividade, uma vez que o efeito direto e a correlação dessa variável com a principal assumiram valores altos e de mesmo sentido. As correlações das variáveis diâmetro máximo da copa e diâmetro de caule deveram-se mais aos efeitos indiretos do IAF e à altura do que aos efeitos diretos delas próprias. A combinação entre as variáveis altura de planta, diâmetro máximo da copa, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos, assim como a combinação das três primeiras apresentaram multicolinearidade. Das outras três combinações restantes com três variáveis, a que melhor explicou a variação na produtividade (R<sup>2</sup> = 0,96) foi aquela entre altura de planta, diâmetro de caule e número de ramos plagiotrópicos (Y2;2,5). Entre as combinações com duas variáveis, a com maior coeficiente de determinação foi o modelo Y8;2,5, entre as variáveis diâmetro máximo da copa e número de ramos plagiotrópicos, explicando cerca de 0,84 da variação na produtividade (Tabela 3).

## Conclusão

As cultivares IAC 44, MG 1192 e Katipó apresentaram características vegetativas indicadoras de melhor vigor inicial. Os espaçamentos não influenciaram as características vegetativas das plantas, aos 20 meses após o plantio. Mas influenciaram aos 33 meses, aumentando a altura de planta da maioria das cultivares, exceto da cultivar MG 6851, a qual possui a mais adequada arquitetura ao adensamento de plantio. As características vegetativas do cafeeiro explicaram de maneira satisfatória a variação na produtividade, conforme a análise de trilha. Plantas mais altas tenderam a produzir mais aos 20 meses, independentemente do espaçamento utilizado e aos 33 meses somente no espaçamento de 2,5 m, sendo que, no espaçamento de 1 m, o desenvolvimento da altura de planta competiu com a produção de grãos.

## Referências

- AKUNDA, E.W.M. *et al.* High density planting of coffee. (II) Adaptative changes in some plants characteristics. *East African Agric. For. J.*, Nairobi, v. 45, n. 2, p. 133-139, 1979.
- ARCILA, P.J.; CHAVES, C.B. Desarrollo foliar del cafeto en tres densidades de siembra. *Cenicafé*, Caldas, v. 46, n. 1, p. 5-20, 1995.
- BARROS, R.S. *Influência dos fatores climáticos sobre a periodicidade de crescimento vegetativo do café (C. arabica L.)*. 1972. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1972.
- BARROS, R.S. *et al.* Coffee crop ecology. *Trop. Ecol.*, Varanasi, v. 36, n. 1, p. 1-19, 1995.
- BARROS, U.V. *et al.* Comportamento fisiológico do cafeeiro Catuaí H 2077-2-5/44 cultivado em solo LVH no sistema adensado 1,75 x 0,75m (7610 pl/ha) nas condições da Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. *Resumos...* Rio de Janeiro: MAA/Procafé/PNFC, 1997. p. 34-36.
- CASSIDY, D.M.S.; KUMAR, D. Root distribution of *Coffea arabica* L. in Zimbabwe. (I) The effect of plant density, mulch, cova planting and shade in Chipinge. *Zimbabwe J. Agric. Res.*, Washington, D.C., v. 22, p. 119-132, 1984.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes e Minas Gerais: 4ª aproximação*. Lavras, 1989.
- CORTÉS, S.L.; SIMÓN, E. Índice de superficie foliar optimo en el cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a plena exposición solar. *Cultivos Tropicales*, La Habana, v. 14, n. 1, p. 56-58, 1993.
- CRUZ, C.D. *Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa: UFV, 1997.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 1997.
- JAMILLO, A.R. Aspectos microclimáticos en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) con alta densidad de siembra. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. *Anais...* Londrina: Iapar, 1996. p. 47-69.
- MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Coffee. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, F. (Ed.). *Ecophysiology of tropical crops*. New York: Academic Press, 1977. p. 249-278.
- MALAVOLTA, E. Fertilização do cafeeiro sob alta densidade de plantio. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. *Anais...* Londrina: Iapar, 1996. p. 107-128.
- MATIELLO, J.B. *et al.* *A moderna cafeicultura de montanha*. Rio de Janeiro: Maara/Procafé, 1994.
- MATIELLO, J.B.; BARROS, U.V. Observações sobre a ramificação de cafeeiros Catuaí sob efeito de vários espaçamentos, na rua e na linha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 25., 1999, Franca. *Resumos...* Rio de Janeiro: MAA/Procafé/PNFC, 1999. p. 33-34.
- NACIF, A.P. *Fenologia e produtividade do cafeeiro (Coffea arabica L.) cv. Catuaí, sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes no Cerrado de Patrocínio-MG*. 1997. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro, In: RENA, A.B. *et al.* (Ed.). *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafós, 1986. p. 14-85.
- RENA, A.B. *et al.* Plantios adensados de café: aspectos morfológicos, ecofisiológicos, fenológicos e agrônômicos. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 61-70, 1998.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Redwood City: The Benjamin / Cummings, 1991.
- VALENCIA, A.G. Relación entre el índice de area foliar y productividad del cafeto. *Cenicafé*, Caldas, v. 24, n. 4, p. 79-89, 1974.

Received on January 31, 2006.

Accepted on April 19, 2007.