

UTILIZAÇÃO DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA ANALISAR O COMPORTAMENTO DO CAFEIEIRO A PLENO SOL E SOMBREADO

Marta dos Santos Freire Ricci¹, Janaina Ribeiro Costa¹, Nelson Geraldo de Oliveira²

(Recebido: 16 de agosto de 2010; aceito: 10 de março de 2011)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, descrever o comportamento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivado há nove anos sob manejo orgânico nos sistemas a pleno sol e sombreado com bananeira (*Musa* sp.) e *Erythrina verna* Vell., em Valença, RJ. Foi realizada uma avaliação conjunta de características vegetativas, teores nutricionais e produtividade, com o auxílio de uma análise de componentes principais. Doze tratamentos foram distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados os sistemas de cultivo a pleno sol e sombreado, e nas subparcelas as seguintes cultivares de café: Tupi IAC 1669-33, Oeiras MG 6851, Icatu IAC 3282, Catucaí 2SL, Obatã IAC 1669-20; Catucaí vermelho IAC 144. Após cinco anos, avaliaram-se as variáveis altura, diâmetros do caule e da copa, área foliar, número de ramos plagiotrópicos, número de nós por ramo, número de folhas presentes, distância entre nós, porcentagem de frutos verdes, maduros e secos, número de plantas mortas, número de plantas com morte da gema apical, produtividade do cafeeiro, e os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg. A análise multivariada discrimina eficientemente as variáveis estudadas nos sistemas de cultivo a pleno sol e sombreado. O sombreado aumenta a porcentagem de frutos verdes, área foliar, altura, diâmetro da copa, distância entre nós, número de folhas nos ramos, número de ramos e teor de N foliar, porém não reduz a produtividade quando o nível de sombra é adequado.

Palavras-chave: Cafeicultura orgânica, características vegetativas, sombreado, produtividade, análise multivariada de dados.

USING PRINCIPAL COMPONENTS TO ANALYZE THE BEHAVIOR OF COFFEE GROWN IN FULL SUN AND SHADE

ABSTRACT: The aim of this work is to describe the behavior of coffee (*Coffea arabica* L.) grown for nine years under organic management systems in full sun and shaded by banana trees (*Musa* sp.) and *Erythrina verna* Vell., in Valença, RJ. We performed a joint evaluation of vegetative characteristics, nutritional content and yield, with the aid of a principal component analysis. Twelve treatments were arranged in a randomized block design with four replications in a split plot. The plots evaluated farming systems in full sun and shade, and the subplots consisted of the following varieties of coffee: Tupi IAC 1669-33, MG 6851, IAC 3282 Icatu, Catucaí 2SL, Obatã IAC 1669-20; lineage IAC IAC 144. After five years we assessed the following variables, height, stem and canopy diameter, leaf area, number of branches, number of nodes per branch, number of leaves present, the distance between nodes, the percentage of green, ripe and dried fruit, number of dead plants, number of plants with death of the apical bud, coffee yield, and foliar concentrations of N, P, K, Ca and Mg. A multivariate analysis efficiently discriminates the variables in full sun and shaded cropping systems. Shading increases the percentage of green fruit, leaf area, height, diameter, distance between nodes, number of leaves on the branches, number of branches and leaf N content, but does not reduce the level of productivity when the shade is adequate.

Index terms: organic coffee, vegetative characteristics, shading, productivity, multivariate data analysis.

1 INTRODUÇÃO

Ainda que a espécie *Coffea arabica* L. seja originária de sub-bosques da Etiópia, Sudão e Quênia (GUERREIRO FILHO et al., 2008), no Brasil há uma grande resistência por parte dos produtores de cultivarem esta espécie em sistemas agroflorestais. Entretanto, para Morais et al. (2009), o sombreado de cafezais vem sendo utilizado para reduzir a necessidade de insumos e auxiliar na manutenção dos

sistemas agrícolas mais equilibrados, com menor ocorrência de pragas e doenças (ALTIERI; SILVA; NICHOLLS, 2003; GLIESSMAN, 2000). Ricci, Costa e Santos (2007) relataram que, embora os custos de implantação e de manutenção dos três primeiros anos da lavoura de café consorciada com banana e eritrina tenham sido 19% mais elevados que os custos da lavoura a pleno sol, a receita bruta obtida na lavoura consorciada foi 66,6% maior nos dois primeiros anos de produção.

¹Pesquisadores da Embrapa Agrobiologia, Caixa Postal 74505, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Emarta@cnpab.embrapa.br; janaina@cnpab.embrapa.br,

²Doutorando em Agronomia da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, Botucatu, SP, ngoufrj@yahoo.com.br.

Para o cafeeiro, o sombreamento protege contra temperaturas extremas, reduz a bionalidade de produção, a incidência de seca dos ponteiros e melhora a qualidade do café. Nas regiões brasileiras produtoras de café que estão sujeitas às geadas, o sombreamento tem a vantagem adicional de proteção contra baixas temperaturas, evitando perdas na produção e prejuízos para os cafeicultores. Todavia, o sombreamento modifica o microclima no qual o cafeeiro se encontra e, dependendo da intensidade e duração, ocasiona mudanças fisiológicas, anatômicas e reprodutivas nas plantas, podendo afetar negativamente a produção (MORAIS et al., 2003).

Dentre os aspectos positivos mais importantes da consorciação do cafeeiro com árvores, podem-se destacar: o aumento da longevidade da cultura; a melhoria das condições edáficas e climáticas para o cafeeiro; a menor demanda por nutrientes; a redução da necessidade de capinas; a redução da ocorrência de pragas e doenças; a proteção contra ventos e geadas e a maturação mais lenta e uniforme dos frutos (LEAL, 2004). Embora a competição exercida pelas árvores por luz, água e nutrientes possa causar redução da produção, Moraes et al. (2009) e Ricci et al. (2006) observaram que o sombreamento não reduziu a produtividade do cafeeiro quando comparado ao cultivo a pleno sol. Baggio et al. (1997) não observaram declínio da produção do cafeeiro cultivado com grevillea (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.) nas densidades de 26, 34 e 48 árvores por hectare em relação ao cultivo a pleno sol. Além disso, houve um maior retorno econômico com o cultivo consorciado, além de proteger contra geadas, conforme relatado por esses autores.

O cafeeiro apresenta boa plasticidade fenotípica, isso é a capacidade de expressar fenótipos distintos quando exposta a diferentes ambientes (GOTTHARD; NYLIN, 1995). Portanto, o cafeeiro pode sofrer alterações morfológicas conforme o nível de radiação, como forma de adaptação (GOMES et al., 2008; MATOS et al., 2009; MORAIS et al., 2004; RICCI et al., 2006).

Quando um fenômeno em estudo depende de muitas variáveis, geralmente a análise univariada pode ser falha, pois não basta conhecer informações estatísticas isoladas, mas é necessário, também, conhecer a totalidade dessas informações fornecidas pelo conjunto das variáveis e suas relações (VICINI;

SOUZA, 2005). Em estudo com cafeeiros, normalmente são avaliadas muitas variáveis, havendo muitas vezes correlações significativas entre elas. Assim, recursos de análise multivariada como, por exemplo, a Análise de Componentes Principais (ACP) pode ser útil na interpretação dos dados. O produto final da ACP é um gráfico em que são normalmente plotadas as amostras e as variáveis em dois eixos cartesianos. Quanto mais próximas duas variáveis no gráfico, maior a correlação entre elas; e, a maior proximidade em duas amostras, significa maior semelhança entre elas em relação às variáveis estudadas.

Objetivou-se, neste trabalho, descrever o comportamento do cafeeiro cultivado sob manejo orgânico, nos sistemas a pleno sol e sombreado, por meio de uma avaliação conjunta de características vegetativas, produtivas e nutricionais, com o auxílio da técnica da análise denominada multivariada Análise de Componentes Principais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental 'Santa Mônica' da Embrapa Gado de Leite, situada em Valença, RJ, em uma área com declividade menor que 10% e altitude de 608 m. A precipitação e as temperaturas médias anuais dos últimos 10 anos foram respectivamente, 1.163,6 mm e 25,5°C, conforme dados coletados pela Estação Meteorológica da Fazenda Experimental.

O trabalho foi constituído por 12 tratamentos distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliados dois sistemas de cultivo: cultivo do cafeeiro a pleno sol (monocultivo) e cultivo sombreado por bananeira (*Musa* sp.), var. Prata Comum e eritrina (*Erythrina verna* Vell.). A bananeira foi escolhida por ser uma espécie de crescimento rápido, permitir um sombreamento rápido ao cafeeiro, além de possibilitar excelente retorno econômico ao produtor, conforme observado e relatado por Ricci e Oliveira (2007). A eritrina foi escolhida por ser uma espécie fixadora de nitrogênio. Nas subparcelas foram avaliadas as seguintes cultivares de café (*Coffea arabica* L.): Tupi IAC 1669-33, Oeiras MG 6851, Icatu amarelo IAC 3282, Catucaí amarelo 2SL,

Obatã vermelho IAC 1669-20; Catuaí vermelho IAC 144. As parcelas foram constituídas por quatro linhas de cafeeiros, no espaçamento 2,5 m x 0,7 m.

A área experimental foi arada e gradeada em dezembro de 2000, tendo recebido 0,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. As mudas de café foram produzidas a partir de sementes em sacolas de polietileno e plantadas em fevereiro de 2001 em covas de 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m. As covas foram adubadas com 2,5 kg de esterco de gado (1,67% de N), 300 g da mistura de termofosfato (18% de P₂O₅; 20% de Ca; 7,0% de Mg) e cinza de madeira (1:1) e com 250 g de 'cama de aviário' (2,72% de N), em cobertura, 40 dias após o plantio. As adubações de manutenção foram realizadas anualmente entre os meses de novembro e fevereiro, baseadas nas análises de solo e nutricional. Como fonte de nitrogênio aplicou-se esterco de cama de aviário, em doses que variaram de 0,25 a 2,5 kg planta⁻¹ complementadas com aplicações de 200 a 500 g planta⁻¹ de torta de mamona (5 a 6% de N). Como fonte de fósforo aplicou-se, no primeiro ano, 100 g planta⁻¹ de termofosfato magnésiano (16,5 % de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico), e nos demais anos, doses de farinha de ossos (20 % P₂O₅ solúvel em ácido cítrico; 1,5 % N; 22% de Ca), que variaram entre e 300 a 500 g planta⁻¹. Como fonte de potássio, aplicou-se, a partir do segundo ano de cultivo, doses de sulfato duplo de potássio e magnésio (22% de K₂O e 11% de MgO) que variaram em 100 e 150 g planta⁻¹.

As eritrinas e as bananeiras foram plantadas respectivamente nos espaçamentos 9 m x 5 m e 3 m x 5 m, nas entrelinhas do café, conforme esquema apresentado na Figura 1.

As adubações foram realizadas anualmente no período chuvoso, de acordo com os resultados das análises de solo e de folhas. O controle das plantas espontâneas foi feito com auxílio de roçadeira costal.

Após cinco anos de cultivo, o percentual de cafeeiros sombreados foi de 38%, de acordo com a metodologia proposta por Hagggar, Schibli e Staver (2001). Por esse método, delimita-se uma área com 100 cafeeiros, na qual se desenha a projeção vertical da copa das espécies arbóreas com relação aos cafeeiros, contando-se o número de cafeeiros sob a projeção das árvores. Estima-se o nível de

sombreamento com base no percentual de cafeeiros sombreados em cada área.

Os dados foram levantados em abril de 2006, com base em 10 cafeeiros selecionados ao acaso por subparcela, avaliando-se as variáveis: altura do cafeeiro (m) – *H*, diâmetro do caule (cm) – *Dcau*; diâmetro da copa (m) – *Dcop*; área foliar (cm²) – *AF*; número de ramos laterais ou plagiotrópicos inferiores (do solo até a metade da planta) – *NRI* e superiores (da metade até a extremidade) – *NRS*.

Amostras compostas de folhas-índice foram utilizadas para a determinação da área foliar, por meio de um medidor LI-COR 3100 (RICCI et al., 2006), e dos teores de *N* (ALVES; BAÊTA; ALVES, 1999); *P*, *K*, *Ca* e *Mg* (BATAGLIA et al., 1983; EMBRAPA, 1997).

Três ramos por cafeeiro, selecionados ao acaso nos terços superior (S), médio (M) e inferior (I), foram utilizados para avaliar o número de nós produtivos (*NNTS* – *NNTM* – *NNTI*), o número de folhas presentes (*NFTS* – *NFTM* – *NFTI*), a distância entre nós por ramo (*DNTS* – *DNTM* – *DNTI*) e a porcentagem de frutos verdes (%*VeTS* – %*VeTM* – %*VeTI*), maduros (%*MaTS* – %*MaTM* – %*MaTI*) e secos (%*SecTS* – %*SecTM* – %*SecTI*).

A produtividade (*Prod*) foi avaliada com base em 10 cafeeiros selecionados ao acaso em cada subparcela, aos cinco anos de idade da lavoura e quarto ano de colheita. Todo o café produzido pelas plantas selecionadas foi derriçado, pesado, colocado em sacador de café até atingir 11% de umidade, e novamente pesado. Uma subamostra de 10 kg de café coco foi beneficiada e pesada, a fim de estimar-se a quantidade de café beneficiado produzido pelas 10 plantas, servindo de base para calcular a produtividade em sacas de 60 kg por hectare.

Após a colheita avaliou-se o número de plantas mortas nas parcelas (*Falha*) e o número de plantas com morte da gema apical (*Mapi*).

Como o estudo envolveu muitas variáveis, optou-se pelo uso da Análise de Componentes Principais (ACP) para analisar e melhor interpretar os dados. Embora os dados tenham sido coletados por cultivar em casa sistema de cultivo, para a análise dos dados considerou-se a média das cultivares por sistema de cultivo e por repetição. Para a realização da análise utilizou-se do programa Canoco (TERBRAAK; SMILAUER, 2002).

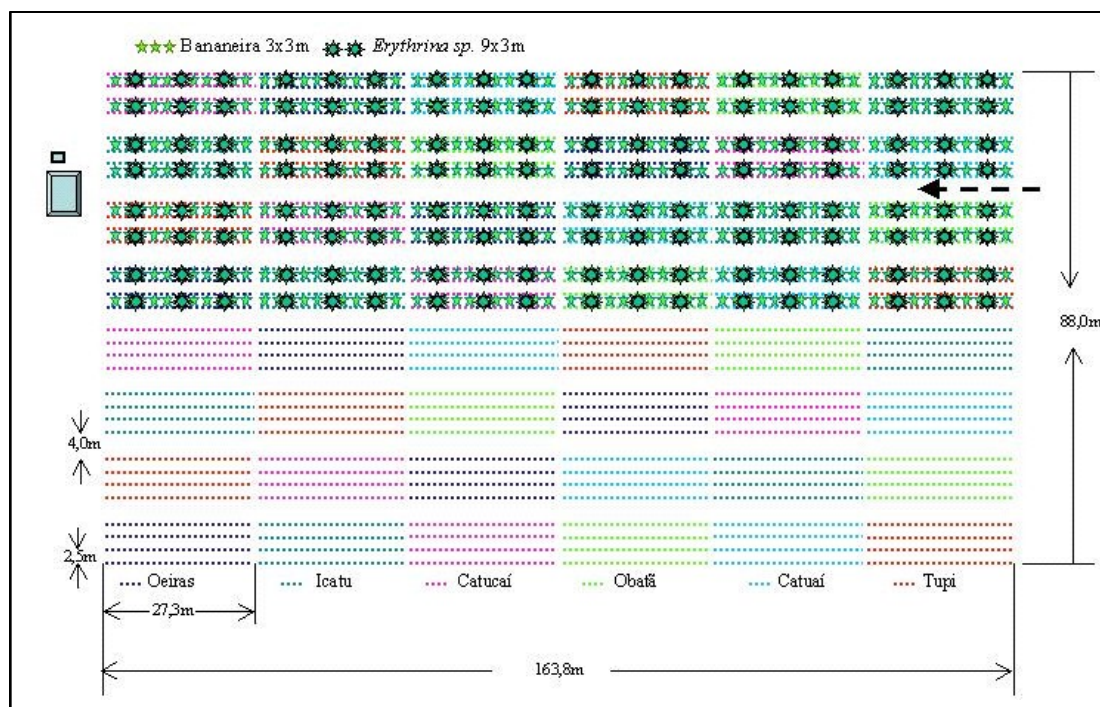


Figura 1 – Desenho das lavouras de café a pleno sol e consorciada à banana (*Musa sp.*) e à eritrina (*Erythrina verna* Vell.).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico ilustrado na Figura 2 representa o comportamento das variáveis estudadas de acordo com os sistemas de cultivo, em que as mesmas estão plotadas em dois eixos cartesianos, enquanto a grandeza de cada variável pode ser observada na Tabela 2.

Na Figura 2, a distribuição das variáveis é representada por vetores (setas), e os sistemas de manejo, por triângulos. Quanto mais próximas as duas variáveis, maior a correlação entre elas. A interpretação do comportamento de uma determinada variável em uma amostra é feita projetando-se um ângulo de 90° do triângulo sobre o vetor. Se a projeção cair na mesma direção da seta e distante da origem do gráfico, conclui-se que o valor médio da variável naquela dada amostra encontra-se acima de uma média geral. Se cair na direção contrária da seta e distante da origem, o valor médio da variável encontra-se abaixo da média. Mas, se a projeção cair próximo à origem do

gráfico, conclui-se que o valor médio da variável na amostra encontra-se próximo à média geral.

Os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por cerca de 81,5% da informação contida no conjunto das 32 variáveis originais, com contribuições individuais de 65,3% e 16,2% para o primeiro (CP_1) e segundo (CP_2) componentes, respectivamente. Nota-se, pela separação no primeiro eixo, referente ao componente CP_1 (à direita e à esquerda do gráfico e distantes da origem do mesmo), que os manejos a pleno sol e sombreado proporcionaram comportamento diferenciado sobre as variáveis avaliadas.

Interpretando-se os coeficientes de correlação linear de cada variável com o primeiro componente principal (CP_1) da Tabela 1, conclui-se que, com exceção das variáveis teores foliares de Mg, Ca e K ($Mg - Ca - K$), produtividade (*Prod*), número de nós no terço inferior (*NTI*), número de ramos superior (*NRS*), número de falhas (*Falha*) e diâmetro do caule (*Dcau*), todas as demais apresentaram coeficientes de correlação superiores, em módulo, a 0,7 indicando

que a maioria das variáveis tiveram grande importância para os valores (escores) de CP_1 . Em relação ao CP_2 , esse não acrescentou informações diferentes além do que já havia sido explicado por CP_1 .

As variáveis com contribuições positivas mais significativas para os valores de CP_1 (Tabelas 1 e 2), foram: porcentagem de frutos verdes nos terços superior, médio e inferior ($\%VeTS - \%VeTM - \%VeTI$), distância entre nós nos terços superior, médio e inferior ($DNTS - DNTM - DNTI$), número de folhas nos terços superior, médio e inferior ($NFTS - NFTM - NFTI$), área foliar (AF), altura da planta (H), teor foliar de nitrogênio (N), diâmetro da copa ($Dcop$) e número de ramos no terço inferior (NRI), o que significa que essas variáveis foram as mais influenciadas (no sentido de aumentar seus valores médios) pelo manejo sombreado que, por sua, vez também encontra-se posicionado no lado direito da Figura 2.

As contribuições negativas mais significativas para CP_1 , isso é, aquelas que foram favorecidas pelo manejo a pleno sol, foram das seguintes variáveis: as porcentagens de frutos maduros nos terços superior, médio e inferior ($\%MaTS - \%MaTM - \%MaTI$), a porcentagem de frutos secos nos terços superior, médio e inferior ($\%SecTS - \%SecTM - \%SecTI$), o número de nós nos terços superior e médio ($NNTS - NNTM$), o teor foliar de fósforo (P) e o número de plantas com morte apical ($Mapi$) (Tabela 1).

Em relação à maturação dos frutos, em abril de 2006 (início da colheita), o percentual de frutos encontrados no estágio verde, nos três diferentes terços da planta foi relacionado positivamente (aumentou) com o cultivo sombreado (Tabela 2), evidenciando que o sombreado retarda a maturação dos frutos, o que já havia sido observado e relatado em outros trabalhos (MATIELLO; COELHO, 1999; MORAIS et al., 2006; PIMENTA; VILELA, 2002; RICCI et al., 2006), ao contrário do observado no cultivo a pleno sol, onde as altas temperaturas e a deficiência hídrica antecipam a maturação dos frutos, segundo Moraes et al. (2009).

Pezzopane et al. (2007) avaliando o desenvolvimento fenológico do cafeeiro nos cultivos a pleno sol e consorciado a bananeiras (sombreado) durante três anos agrícolas, observou que, no cultivo sombreado, o tempo para a maturação dos frutos foi maior (fases *passa*, *cereja* e *verde*), sendo na opinião desses autores, uma vantagem que o sombreado traz para os produtores, visto que permite prolongar a colheita, possibilitando a coleta seletiva.

O aumento na área foliar do cafeeiro cultivado à sombra já havia sido relatado em outros estudos (FAHL et al., 1994; LARRAMENDI; ABALLES, 1995; LEMOS et al., 2007; LUNZ, 2006; MORAIS et al., 2003; RICCI et al., 2006), e representam reforços mecânicos desenvolvidos pelo cafeeiro para

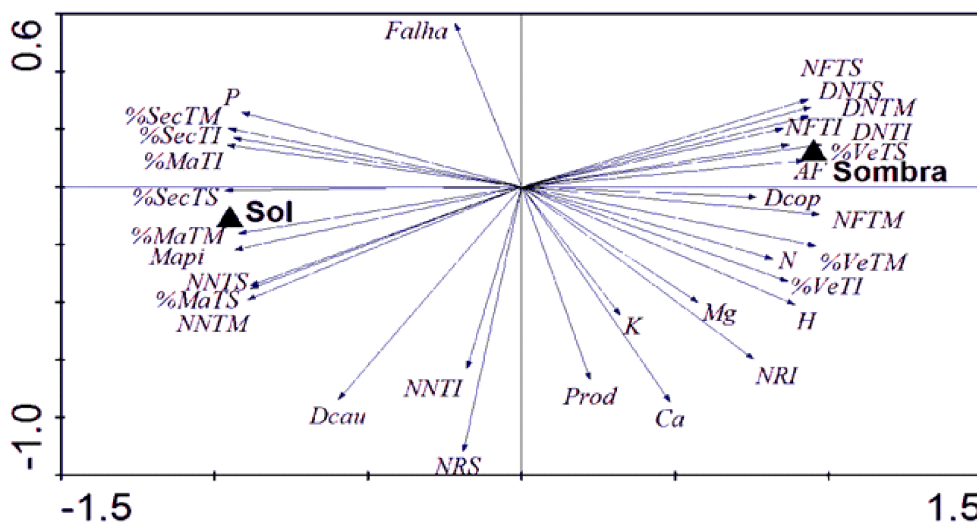


Figura 2 – Análise de componentes principais das variáveis avaliadas em cafeeiros (*Coffea arabica* L.) manejados a pleno sol e na sombra. Valença, RJ, 2006. Vide descrição das siglas em material e métodos.

Tabela 1 – Coeficientes de correlação linear (r_{ij}) entre as variáveis e os dois primeiros componentes principais (CP₁ e CP₂) relacionados a cafeeiros (*Coffea arabica* L.) conduzidos em sistema a pleno sol e arborizado. Valença, RJ, 2006.

Variáveis	Coeficientes de correlação (*)			
	CP ₁		CP ₂	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
%VeTS – % de frutos verdes no terço superior	0,98*		0,15	
%MaTS – % de frutos maduros no terço superior		-0,88*		-0,35
%SecTS – % de frutos secos no terço superior		-0,97*		-0,01
%VeTM – % de frutos verdes no terço médio	0,96*			-0,20
%MaTM – % de frutos maduros no terço médio		-0,92*		-0,16
%SecTM – % de frutos secos no terço médio		-0,95*	0,20	
%VeTI – % de frutos verdes no terço inferior	0,87*			-0,33
%MaTI – % de frutos maduros no terço inferior		-0,96*	0,15	
%SecTI – % de frutos secos no terço inferior		-0,94*	0,17	
Dcau – diâmetro do caule		-0,60		-0,74*
AF – área foliar	0,92*		0,09	
H – altura da planta	0,89*			-0,41
Dcop – diâmetro da copa	0,77*			-0,04
NRS – número de ramos no terço superior		-0,19		-0,92*
NRI - número de ramos no terço inferior	0,76*			-0,60
NNTS - número de nós no terço superior		-0,88*		-0,34
NNTM - número de nós no terço médio		-0,89*		-0,39
NNTI - número de nós no terço inferior		-0,18		-0,63
NFTS – número de folhas no terço superior	0,93*		0,30	
NFTM - número de folhas no terço médio	0,97*			-0,10
NFTI - número de folhas no terço inferior	0,85*		0,20	
DNTS – distância entre nós no terço superior	0,94*		0,28	
DNTM - distância entre nós no terço médio	0,94*		0,24	
DNTI - distância entre nós no terço inferior	0,87*		0,15	
Falha - número de plantas mortas		-0,22	0,57	
Mapi – número de plantas com morte apical		-0,93*		-0,22
Prod - produtividade	0,22			-0,67
Ca – teor foliar de cálcio	0,48			-0,75*
Mg - teor foliar de magnésio	0,57			-0,40
P - teor foliar de fósforo		-0,91*	0,26	
K - teor foliar de potássio	0,32			-0,45
N - teor foliar de nitrogênio	0,82*			-0,25

* Coeficientes de correlação superiores em módulo a 0,7 em CP₁ e em CP₂.

Tabela 2 – Valores médios das variáveis avaliadas nas parcelas dos sistemas a pleno sol e sombreado. Valença, RJ.

Variáveis	Sistemas de Cultivo	
	Pleno Sol	Sombreado
%VeTS – % de frutos verdes no terço superior	33,6	65,3
%MaTS – % de frutos maduros no terço superior	49,7	33,3
%SecTS – % de frutos secos no terço superior	16,7	1,4
%VeTM – % de frutos verdes no terço médio	40,3	73,0
%MaTM – % de frutos maduros no terço médio	42,0	25,1
%SecTM – % de frutos secos no terço médio	17,7	1,9
%VeTI – % de frutos verdes no terço inferior	65,7	91,4
%MaTI – % de frutos maduros no terço inferior	26,7	7,8
%SecTI – % de frutos secos no terço inferior	7,6	0,8
Dcau – diâmetro do caule	2,45	2,27
AF – área foliar	42,3	55,5
H – altura da planta	2,00	2,27
Dcop – diâmetro da copa	1,48	1,56
NRS – número de ramos no terço superior	48,4	46,2
NRI - número de ramos no terço inferior	16,9	22,7
NNTS - número de nós no terço superior	16,7	13,8
NNTM - número de nós no terço médio	28,0	22,2
NNTI - número de nós no terço inferior	25,3	24,4
NFTS – número de folhas no terço superior	7,7	15,3
NFTM - número de folhas no terço médio	3,6	9,5
NFTI - número de folhas no terço inferior	3,2	5,7
DNTS – distância entre nós no terço superior	2,33	3,36
DNTM - distância entre nós no terço médio	2,05	2,82
DNTI - distância entre nós no terço inferior	2,19	2,94
Falha - número de plantas mortas	6,21	5,91
Mapi – número de plantas com morte apical	5,0	0,1
Prod - produtividade	37,5	39,6
Ca – teor foliar de cálcio	14,02	15,38
Mg - teor foliar de magnésio	4,84	5,60
P - teor foliar de fósforo	1,66	1,32
K - teor foliar de potássio	25,2	27,4
N - teor foliar de nitrogênio	2,679	2,976

evitar a perda de água e aumentar a captura de luz. Segundo Cannell (1985), essas alterações podem possibilitar um aumento de produção.

O maior número de folhas presentes no cafeeiro foi outra influência positiva ocasionada pelo sombreamento. A razão para uma menor perda de folhas à sombra possivelmente foi devido à manutenção do teor de umidade no solo. Moreira (2003) já havia relatado que os cafeeiros cultivados a pleno sol perdem mais folhas que os cultivados sombreados devido à atenuação da temperatura e manutenção da umidade proporcionada pelas árvores. Ricci, Costa e Santos (2007) também observaram em cultivos adensados do cafeeiro, uma menor perda de folhas no mês mais seco do ano (agosto), provavelmente devido ao maior autossombreamento proporcionado pelo plantio adensado que auxiliou na manutenção da umidade do solo. A menor perda de folhas resulta como benefício para o cafeeiro em um menor gasto de energia para a formação de novas folhas após o término do período seco.

A maior presença de ramos produtivos no terço inferior representa um ganho que pode compensar outras perdas, expressas por variáveis que foram negativamente influenciadas pelo sombreamento, tais como o aumento da distância entre os nós produtivos e menor número de nós por ramo nos terços superior e médio do cafeeiro.

Tanto a altura, como o diâmetro da copa dos cafeeiros foram maiores no cultivo sombreado (Figura 2). Fahl et al. (1994) relataram que os cafeeiros sombreados desenvolveram plantas mais altas, com folhas maiores e mais finas. As alterações observadas no presente estudo (maior altura, diâmetro da copa e área foliar), podem representar os esforços mecânicos que a planta fez para compensar a menor luminosidade na condição sombreada, a fim de permitir uma maior captação da energia solar disponível. Tais resultados ratificam o que já havia sido relatado por Moraes et al. (2003), os quais observaram que, quando submetidos a um sombreamento denso, o cafeeiro apresenta menores taxas de transpiração e fotossíntese, maior crescimento em altura, menor número de ramos plagiotrópicos, folhas maiores e com menor acúmulo de matéria seca, em relação à condição a pleno sol.

O teor de N foliar foi positivamente relacionado com a sombra, o que pode ser explicado pela presença

da eritrina, espécie arbórea fixadora de N, utilizada no presente estudo. Esse resultado demonstra mais um benefício que a arborização pode trazer para a cultura do café, especialmente quando essa é cultivada sob manejo orgânico, em que o aporte de N é restrito a fontes alternativas permitidas pela legislação em vigor, tais como esterco, compostos orgânicos, torta de mamona, entre outras.

Dentre as variáveis influenciadas positivamente pelo cultivo a pleno sol tem-se o número de plantas com morte apical, seguido de seca de ramos, distúrbio conhecido como *die-back*, que está relacionado a diferentes fatores, entre eles a produção elevada, como evidenciaram Ricci, Costa e Santos (2007), em cafeeiros cultivados em sistema orgânico em diferentes espaçamentos, o que deve ter resultado no esgotamento das reservas nutricionais (MONTROYA; UMAÑA, 1961; RIBEIRO, 1993), e de amido (AGUILAR et al., 2001; CARVALHO et al., 1993, 2007), agravado pelo déficit hídrico e altas temperaturas durante o período de enchimento dos grãos, conforme relata Carvalho (1985).

O cultivo sombreado relacionou-se negativamente (Figura 2) com a seca dos ramos, tendo ocasionado menor ocorrência desse distúrbio. É provável que tal resultado se deva à redução das temperaturas máximas proporcionada pela presença das árvores e das bananeiras, como também pela maior ciclagem de nutrientes e maior aporte de N devido à associação com uma leguminosa arbórea, fixadora de N.

O teor de P foliar foi influenciado positivamente pelo cultivo a pleno sol, resultado que pode ter sido devido a uma maior associação micorrízica com o cafeeiro na condição a pleno sol. Ricci et al. (2006), estudando cafezais com 20 anos de idade, cultivados no município de Duas Barras, RJ sob manejo orgânico, sombreado e a pleno sol, observaram que os cafeeiros a pleno sol apresentaram maior número de espécies e maior número de esporos de fungos micorrízicos quando comparados a cafeeiros na mesma área, porém sob a influência da espécie arbórea 'Paratudo' (*Hortia arborea* Engl.), embora Bonfim et al. (2007) tenham observado resultados contrários.

Embora o cultivo sombreado tenha influenciado negativamente o número de nós por ramo nos terços superior e médio do cafeeiro, a sombra influenciou

positivamente (aumentou) o número de ramos presentes no terço inferior. Embora o sombreamento tenha reduzido o número de nós, característica vegetativa importante para a produção, o sombreamento aumentou outra característica importante para a produção, o número de ramos no terço inferior (Figura 2, Tabela 2). Compensações como essa podem ser uma razão pela qual a produtividade obtida não diferiu entre os sistemas de cultivo (Tabela 2).

De acordo com Gotthard e Nylin (1995), o cafeeiro é uma espécie que apresenta boa plasticidade fenotípica, isso é, a capacidade de expressar fenótipos distintos quando exposta a ambientes com diferentes níveis de radiação. Matos et al. (2009) avaliando a resposta do cafeeiro à radiação solar, concluíram que esse possui plasticidade suficiente para ser cultivado tanto a pleno sol como em ambientes sombreados, e essa última está relacionada a modificações de algumas características fisiológicas e morfológicas, conforme observado no presente estudo.

4 CONCLUSÕES

A análise de componentes principais é uma ferramenta eficiente no estudo do comportamento do cafeeiro, quando cultivado nos manejos a pleno sol e sombreado.

O cultivo sombreado aumenta a porcentagem de frutos verdes presentes no início da colheita, a área foliar, a altura e o diâmetro da copa, a distância entre nós, o número de folhas nos ramos, o número de ramos e o teor de N foliar, enquanto as variáveis porcentagem de frutos maduros e secos, número de nós, teor de P foliar e número de plantas com morte apical foram maiores no cultivo a pleno sol.

A produtividade não foi influenciada pelos sistemas de cultivo, demonstrando que o cafeeiro sofre alterações vegetativas que possibilitam a essa espécie produzir bem, quando cultivada em ambientes adequadamente sombreados.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, pelo apoio financeiro ao projeto e concessão da bolsa de Apoio Técnico, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, também pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, M. A. G. et al. Influência de diferentes porta-enxertos nos teores de macronutrientes e na seca de ramos do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 1813-1819.

ALTIERI, M. A.; SILVA, E. N.; NICHOLLS, C. I. **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 226 p.

ALVES, B. J. R.; BAÊTA, A. M.; ALVES, J. V. **Protocolo da Embrapa Agrobiologia para análise de nitrogênio em adubos orgânicos, solo e tecidos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999. 17 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 100).

BAGGIO, A. J. et al. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 37, p. 111-120, 1997.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim técnico, 78).

BONFIM, J. A. et al. Determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros cultivados em sistema agrofloretal e a pleno sol, no município de Vitória da Conquista, Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 727-730, 2007.

CANNELL, R. Physiology of the coffee crop. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985. p. 108-134.

CARVALHO, C. H. S. **Relação entre a seca de ramos e a produção, teor de minerais, teor de amido e morte de raízes da progênie de Catimor UFV-1359 (*Coffea arabica* L.)**. 1985. 43 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

CARVALHO, C. H. S. et al. Parâmetros morfológicos e fisiológicos associados com a seca de ramos do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2007. 1 CD-ROM.

_____. Relação entre a produção, teores de N, P, K, Ca, Mg, amido e a seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 6, p. 665-673, jun. 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FAHL, J. I. et al. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, p. 161-169, 1994.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 653 p.

GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, 2008.

GOTTHARD, K.; NYLIN, S. Adaptive plasticity and plasticity as an adaptation: a selective review of plasticity in animal morphology and life history. **Oikos**, Lund, v. 74, n. 1, p. 3-17, 1995.

GUERREIRO FILHO, O. et al. Origem e classificação botânica do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. cap. 1, p. 27-34.

HAGGAR, J. P.; SCHIBLI, C.; STAVAR, C. Como manejar árboles de sombra en cafetales? **Agroforestería en las Américas**, San José, v. 8, n. 29, p. 37-41, 2001.

LARRAMENDI, L. R.; ABALLES, O. P. Estimación del área y la massa seca de hojas de cafetos cultivados al sol y bajo sombra. **Centro Agrícola**, San José, n. 2, p. 15-20, 1995.

LEAL, A. C. **Avaliação de espécies florestais para arborização de cafeeiros no Norte do Paraná: efeitos na produtividade e na proteção contra geadas de radiação**. 2004. 128 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LEMOS, C. L. et al. Avaliação do desenvolvimento vegetativo em cafeeiros sombreado e a pleno sol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 1062-1065, 2007.

LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 95 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006.

MATIELLO, J. B.; COELHO, C. Observações fenológicas em cafeeiros Conilon cultivados com e sem arborização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Anais...** Franca: MAA/PROCAFÉ, 1999. p. 19-20.

MATOS, F. S. et al. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 67, p. 421-427, 2009.

MONTOYA, L. A.; UMAÑA, R. Efecto de tres intensidades de luz y tres niveles de nitrogeno (urea) sobre la intensidad del dieback. **Café**, San José, v. 3, p. 1-8, 1961.

MORAIS, H. et al. Características fidiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1131-1137, 2003.

_____. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 763-770, 2006.

_____. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, 2004.

_____. Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, 2009.

MOREIRA, C. F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. 2003. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

Coffee Science, Lavras, v. 6, n. 1, p. 44-54, jan./abr. 2011

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana prata anã. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 527-533, 2007.

PIMENTA, C. J.; VILELA, E. R. Qualidade do café (*Coffea Arabica* L.) colhido em sete épocas diferentes na região de Lavras, MG. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, p. 1481-1491, 2002. Edição Especial.

RIBEIRO, M. F. **Respostas do crescimento, do amido e de micronutrientes ao potássio em genótipos de *Coffea arabica* L., com diferentes sensibilidades a seca de ponteiros**. 1993. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

RICCI, M. S. F. et al. **Cultivo orgânico de cultivares e café a pleno sol e sombreado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, abr. 2006.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; SANTOS, V. L. S. **Ocorrência de seca de ramos em cafeeiros cultivados no sistema orgânico em diferentes espaçamentos de plantio**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. (Documentos, 244).

RICCI, M. S. F.; OLIVEIRA, N. G. de. **Custos de implantação e de manutenção e receitas brutas obtidas com o cultivo orgânico de café nos sistemas a pleno sol e consorciado à banana e eritrina**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 16 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 18).

TER-BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **Canoco for Windows v. 4.5**. Wageningen: CPRO-DLO, 2002. Software.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria a prática**. Santa Maria: UFSM, 2005. (Caderno Didático).