

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**

**Aureny Maria Pereira Lunz**

**Tese apresentada para a obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de concentração:  
Fitotecnia**

**Piracicaba**

**2006**

**Aureny Maria Pereira Lunz**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. MARCOS SILVEIRA BERNARDES**

**Tese apresentada para a obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de concentração:  
Fitotecnia**

**Piracicaba**  
**2006**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DI VI SÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/ USP**

Lunz, Aurenny Maria Pereira

Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol / Aurenny Maria  
Pereira Lunz. - - Piracicaba, 2006.  
94 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.  
Bibliografia.

1. Café 2. Crescimento vegetal 3. Produtividade 4. Radiação solar 5. Seringueira  
6. Sistema agroflorestal 7. Sombreamento I. Título

CDD 633.73

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a  
fonte – O autor”**

Aos meus pais,  
Alberto e Reny, fundamentais nesta  
conquista, pelo infinito amor e pelos  
ensinamentos, que nortearam minha vida  
e me fizeram progredir;

### **OFEREÇO**

Ao meu grande tesouro,  
Heliomar, meu companheiro de jornada e  
à Giovana e Carolina, minhas amadas filhas;

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele nada seria possível.

A Embrapa Acre, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado, especialmente ao Marcus Vinício Neves d'Oliveira e Luís Cláudio de Oliveira, pelo apoio para concretização do curso.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP e ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao Professor Dr. Marcos Silveira Bernardes, pela confiança, pelos ensinamentos transmitidos e dedicação na orientação deste trabalho.

Ao meu marido Heliomar, por seu amor, paciência e apoio incondicional para realização do curso e as minhas queridas filhas Giovana e Carolina, que mesmo com minha ausência, sempre tinham um sorriso para me oferecer.

Aos colegas de curso Ciro Righi, Leila Sobral, Edson Terramoto, Luis Fernando e Cássia Regina, pela solidariedade fazendo-nos vivenciar o espírito de equipe no grupo de SAF, no decorrer do curso. Em especial ao Ciro, pela oportunidade e confiança em compartilhar seu experimento e pelas sugestões na elaboração da tese.

Aos professores José Dias e José Favarin, pelo apoio na condução da pesquisa e sugestões essenciais para realização desse trabalho.

A professora Sônia Piedade, pela orientação nas análises estatísticas.

Ao Dr. Guilherme Cortez, pela viabilização das análises sensoriais de café e pelas valiosas sugestões nesse tema.

Aos colegas da Embrapa Acre Idésio Franke e Elias Miranda, pelo incentivo e apoio para viabilização do curso de Doutorado.

Aos colegas de curso Walnice, Eniel, Fabiana, Flávio, Carlos, Eliane, Carol e muitos outros, pela amizade e bons momentos de convivência.

Aos meus pais e irmãos, por seu infinito amor, especialmente minha mãe Reny, por estar sempre presente e meu irmão Dande, por sua sabedoria espiritual transmitida nas horas mais difíceis.

A Luciane, secretária do curso de pós-graduação em Fitotecnia, pelo apoio e presteza.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, pelo suporte técnico e pela contribuição nas atividades de campo.

Ao Instituto Agronômico de Campinas - IAC, em especial ao Dr. Luiz Carlos Fazuoli, por ter viabilizado o uso do equipamento de classificação dos grãos de café por peneira.

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

“É muito importante que o homem tenha ideais. Sem eles, não se vai a parte alguma. No entanto, é irrelevante alcançá-los ou não. É apenas necessário mantê-los vivos e procurar atingi-los”.

Dalai-Lama

## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	13
1 INTRODUÇÃO .....	14
2 DESENVOLVIMENTO .....	15
2.1 Revisão Bibliográfica.....	15
2.1.1 Interações biofísicas acima do solo em sistemas agroflorestais .....	15
2.1.2 Cafeeiro e sombreamento .....	17
2.1.2.1 Considerações gerais.....	17
2.1.2.2 Alterações microclimáticas ocorridas com sombreamento.....	19
2.1.2.3 Ecofisiologia do cafeeiro sombreado.....	20
2.1.2.4 Produção .....	24
2.1.2.5 Qualidade do café .....	28
2.2 Material e Métodos.....	31
2.2.1 Caracterização da área experimental.....	31
2.2.2 Delineamento experimental.....	33
2.2.3 Variáveis analisadas .....	35
2.2.3.1 Análise de crescimento do cafeeiro.....	35
2.2.3.1.1 Avaliações não destrutivas das plantas.....	35
2.2.3.1.2 Avaliações destrutivas das plantas .....	36
2.2.3.1.3 Índices de crescimento e morfológicos calculados.....	37
2.2.3.2 Produção do cafeeiro .....	39
2.2.3.3 Qualidade do café .....	40
2.2.4 Análise estatística .....	42
2.3 Resultados e Discussão.....	42
2.3.1 Análise de crescimento do cafeeiro.....	42
2.3.1.1 Avaliações não destrutivas das plantas .....	42
2.3.1.2 Avaliações destrutivas das plantas .....	50
2.3.1.3 Índices de crescimento e morfológicos calculados .....	58



2.3.2 Produção do cafeeiro .....	66
2.3.2.1 Produtividade .....	66
2.3.2.2 Índice de bienalidade da produção.....	70
2.3.2.3 Rendimento da produção .....	71
2.3.3 Qualidade do café .....	72
2.3.3.1 Maturação dos frutos.....	72
2.3.3.2 Tamanho dos grãos .....	74
2.3.3.3 Análise sensorial da bebida.....	77
3 CONCLUSÕES .....	79
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICES.....	90

## RESUMO

### Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol

O café é uma importante commodity agrícola de exportação no mundo e o Brasil ocupa posição de destaque, como o maior produtor e exportador mundial. Contudo, é um produto bastante vulnerável às flutuações de preço no mercado. Nesse sentido, a diversificação da produção pode ser uma importante estratégia para manter o equilíbrio econômico da propriedade. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de radiação solar no crescimento e na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), bem como na qualidade do café. A pesquisa foi conduzida no período de janeiro de 2002 a agosto de 2005, na ESALQ/USP, em Piracicaba-SP (22°42'30" S, 47°38'00" W – altitude 550 m). O experimento foi composto de seringueira adulta clone PB 235 e cafeeiro cv. Obatã IAC 1669-20, plantado em janeiro de 2002 no sub-bosque do seringal, interfaceando as árvores de seringueira e em monocultivo (pleno sol). Os tratamentos foram constituídos por um gradiente de luminosidade de 25, 30, 35, 40, 45, 80, 90, 95, 98, 99 e 100%, formado por linhas de cafeeiros plantados a diferentes distâncias das árvores de seringueira, tanto dentro como interfaceando o seringal e em monocultivo (pleno sol). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com 11 tratamentos e 4 repetições. As variáveis analisadas foram relativas ao crescimento (diâmetro do caule e da copa, altura inicial da copa e altura da planta, área foliar total, massa seca acima do solo, número de ramos e nós e comprimento dos internódios, área foliar individual, TAL, RAF, AFE, IAF, TCA, TCR) e produção do cafeeiro (produtividade, rendimento e índice de bienalidade de produção), bem como referentes a qualidade do café (maturação dos frutos, classificação dos grãos por peneira e análise sensorial da bebida). O crescimento e a produtividade do cafeeiro, assim como a qualidade do café foram modificados pela disponibilidade de irradiância. O crescimento e a produtividade aumentaram com o incremento de irradiância. O incremento de irradiância a partir de 70% praticamente não alterou o acúmulo de massa seca da parte aérea da planta e sob elevado sombreamento a massa seca foi muito baixa. A produtividade do cafeeiro alterou muito pouco a partir de 60% de radiação e a aproximadamente 70% se estabilizou. De modo oposto, houve uma melhoria da qualidade do café à medida que foi intensificado o sombreamento, obtendo-se frutos com maior uniformidade de maturação, grãos de maior tamanho e bebida de melhor qualidade.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; Seringueira; Sistema agroflorestal; Radiação solar; Luz; Matéria seca; Qualidade da bebida

## ABSTRACT

### Growth and productivity of coffee plants under shade and full sun

Coffee is an important exporting agricultural commodity in the world and the Brazil is in a leading position as the world's largest exporting producer. However, the product is quite vulnerable to market price floating. In that scenario, diversifying products can be an important strategy to keep the economic equilibrium of the property. The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of solar radiation on the growth and production of coffee (*Coffea arabica* L.), as well as coffee quality. The research was conducted from January 2002 to August 2005 at ESALQ/USP, in Piracicaba-SP (22°42'30" S, 47°38'00" W – altitude 550 m). The experiment comprised an adult rubber tree, clone PB 235, and coffee cv Obatã IAC 1669-20, grown in January 2002 in a rubber tree understory, interfacing with rubber trees and monocrop trees (sun exposed). The treatments included a 25, 30, 35, 40, 45, 80, 90, 95, 98, 99 and 100% luminosity gradient, formed by coffee plant rows grown at different distances from the rubber trees, both within and interfacing with the rubber tree plantation and monocrop (full sun). The experimental design was that of random blocks with 11 treatments and 4 replications. The analyzed variables were those related to growth (trunk and crown diameter, initial height of canopy, plant height, total leaf area, above-ground dry mass, number of branches and nodes and internodes length, single leaf area, NAR, LAR, SLA, LAI, G and RGR,) and coffee production (productivity, yield and rate of biannual production), as well as those related to coffee quality (fruit maturity, bean size and sensorial analysis of the beverage). The coffee growth and productivity, as well as the quality, were modified by irradiance availability. The growth and the productivity increased with the solar radiation increment. The irradiance increment starting from 70% practically did not change the accumulation of the plant above-ground dry mass and under high shading the dry mass was very low. The productivity of the coffee plant changed a little starting from 60% of radiation and the approximately 70% were stabilized. Instead, a coffee quality improvement was observed as shading was intensified, with more maturation uniformity fruit, larger grains and better quality drink.

Key words: *Coffea arabica* L.; Rubber tree; Agroforest system; Solar radiation; Light; Dry matter; Beverage quality

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista parcial da disposição dos tubos solarímetros sobre a copa dos cafeeiros e da estação automática de coleta de dados no interior do seringal, em Piracicaba-SP .....	32
Figura 2 - Desenho esquemático com a disposição das culturas na área experimental, em Piracicaba-SP .....	33
Figura 3 - Vista parcial da interface seringueira-cafeeiro (a) e (b), vista parcial dos cafeeiros no interior do seringal (c) .....	34
Figura 4 - Diâmetro do caule do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	43
Figura 5 - Altura inicial da copa do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	45
Figura 6 - Área foliar do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação (1ª, 2ª e 3ª), em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	49
Figura 7 - Área foliar do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação (4ª e 6ª), em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	49
Figura 8 - Massa seca total da parte aérea do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	51
Figura 9 - Proporção de massa seca dos diferentes componentes da parte aérea do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	52
Figura 10 - Número de ramos plagiotrópicos primários, secundários e terciários por planta do cafeeiro, em função da irradiância disponível, aos 38 meses após o plantio, em Piracicaba-SP .....	54
Figura 11 - Número médio de nós nos ramos ortotrópico e plagiotrópico do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	55
Figura 12 - Tamanho médio dos entrenós dos ramos ortotrópico e plagiotrópico do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	56
Figura 13 - Área foliar individual do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	57
Figura 14 - Comparação entre folhas de cafeeiros, aos 38 meses após o plantio, sob 25% de irradiância (a) e a pleno sol (b), em Piracicaba-SP .....	58
Figura 15 - Taxa de assimilação líquida do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	59
Figura 16 - Razão de área foliar do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	60
Figura 17 - Área foliar específica do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	61

Figura 18 - Índice de área foliar do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	63
Figura 19 - Taxa de crescimento absoluto da massa seca da parte aérea do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	64
Figura 20 - Taxa de crescimento relativo da massa seca da parte aérea do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	65
Figura 21 - Produtividade de café coco e beneficiado, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	66
Figura 22 - Produtividade média de café coco e beneficiado de duas safras (2004 e 2005), em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	67
Figura 23 - Índice de bienalidade de produção do cafeeiro, referente às safras 2004 e 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	70
Figura 24 - Rendimento do café da safra 2004, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	72
Figura 25 - Maturação de frutos de café no momento da colheita, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	73
Figura 26 - Proporção de grãos de café de tamanho grande, referente às safras 2004 e 2005, em função da irradiância relativa, em Piracicaba-SP .....	75
Figura 27 - Classificação dos grãos de café por tamanho, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	75
Figura 28 - Classificação dos grãos de café por peneira, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	76

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Equações de regressão entre a variável independente, irradiância disponível (%) e a variável dependente, diâmetro basal do cafeeiro (mm), em 6 épocas de avaliação, em Piracicaba-SP .....	43
Tabela 2 - Equações de regressão entre a variável independente, irradiância disponível (%) e a variável dependente, altura inicial da copa do cafeeiro (cm), em 6 épocas de avaliação, em Piracicaba-SP .....	46
Tabela 3 - Equações de regressão entre a variável independente, irradiância disponível (%) e a variável dependente, área foliar do cafeeiro ( $m^2.planta^{-1}$ ), em 5 épocas de avaliação, em Piracicaba-SP .....	50
Tabela 4 - Classificação do café pela análise sensorial da bebida na primeira na safra 2004, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP .....	77

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro ocupa papel de elevada importância na agricultura e na economia brasileira. O café é uma importante commodity agrícola de exportação no mundo e, dentre os países produtores, o Brasil ocupa posição de destaque, sendo o maior produtor e exportador mundial. Contudo, é um produto bastante vulnerável às flutuações de preço no mercado (CAIXETA, 2001; FNP, 2004). Neste sentido, a diversificação da produção é uma importante estratégia para manter o equilíbrio econômico da propriedade e os sistemas agroflorestais podem ser uma alternativa.

A utilização do cafeeiro em sistemas agroflorestais, além de diversificar a fonte de renda do agricultor, pode apresentar outros benefícios, entre eles, melhoria da qualidade do café, agregando mais valor ao produto. A exigência por cafés de qualidade, tanto no mercado nacional como internacional, é cada vez mais intensa. A qualidade transformou-se num fator imprescindível para a manutenção e conquista de novos mercados.

No Brasil o cafeeiro é cultivado predominantemente a pleno sol. No entanto, nos países da América Latina é comum seu cultivo em associação com diversas espécies sombreadoras, onde essa prática tem se mostrado promissora.

Os maiores benefícios fisiológicos que o cafeeiro recebe das árvores de sombra estão associados com a redução do estresse da planta, pela melhoria do microclima e do solo (BEER et. al., 1998; BEER, 1987). Essas modificações microclimáticas interferem no comportamento da planta de cafeeiro, alterando as trocas gasosas, a anatomia, a morfologia, o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo, refletindo conseqüentemente em sua produtividade.

Apesar da importância do sistema de produção de cafeeiro à sombra, as interações entre os fatores climáticos, especialmente a radiação, e seus efeitos no crescimento foram pouco estudados. Dessa forma, ganha relevância o avanço do conhecimento científico nesse tema, o que induz ao objetivo do presente estudo que é avaliar o efeito de diferentes níveis de radiação solar no crescimento do cafeeiro. Para tanto, testou-se as seguintes hipóteses: (a) Há uma intensidade ótima de radiação solar, abaixo daquela encontrada a pleno sol, para o crescimento e a produtividade do cafeeiro; (b) A qualidade do café aumenta com a disponibilidade de radiação.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1 Interações biofísicas acima do solo em sistemas agroflorestais**

O Sistema Agroflorestal (SAF) é uma forma de uso da terra no qual árvores crescem em associação com outras culturas, perenes ou anuais, e animais, em várias disposições no espaço e no tempo, utilizando práticas de manejo compatíveis com a população local. Nesse sistema, há interações ecológicas e econômicas entre as árvores e as outras culturas, que resultam em vantagens em relação aos outros sistemas de agricultura (NAIR, 1993). SAF é um termo recente, empregado para designar um conjunto de práticas e sistemas de uso da terra já tradicionais, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, embora também encontrado em regiões temperadas.

A presença de um componente arbóreo, a diversidade de espécies e o grande acúmulo de biomassa favorecem a ciclagem de nutrientes entre a vegetação e o solo, aumento sua sustentabilidade. Os SAFs, se bem planejados, podem apresentar inúmeras vantagens pela melhor utilização dos recursos naturais disponíveis, como luz, água e nutrientes, pela menor incidência de pragas e doenças, pela maior diversificação da produção e conseqüente diminuição dos riscos econômicos, pela melhor distribuição temporal da mão-de-obra, pela maior estabilidade e pela melhor conservação do solo, entre outras (MONTAGNINI, 1992).

Os sistemas agroflorestais buscam aumentar os efeitos benéficos das interações entre as espécies lenhosas e culturas e/ou animais. Utilizando os ecossistemas naturais como modelo e aplicando suas características ecológicas aos sistemas agrícolas, espera-se que sua produtividade possa ser mantida a longo prazo sem a degradação da terra. Esse fato é de particular importância, considerando-se a atual aplicação dos SAFs em áreas marginais à agricultura e a pouca disponibilidade de insumos (FARRELL; ALTIERI, 2002). O estudo dos princípios da captação de recursos em SAFs é útil na análise de desempenho das culturas envolvidas sob várias condições de clima e manejo, de modo a maximizar as interações positivas e a minimizar as interações negativas (ONG et al., 1996).



As interações entre componentes referem-se à influência de um componente do sistema na performance dos outros, bem como no sistema como um todo (NAIR, 1993). Sistemas agroflorestais são muito mais complexos do que sistemas de consórcios anuais, devido a uma maior diferença na natureza e no arranjo dos componentes e, portanto, na natureza e na extensão das interações. Nesses sistemas, as interações são contínuas em lugar de sazonais, como nos sistemas anuais, e o efeito dessas interações é largamente determinado pelo componente arbóreo do sistema (RAO; NAIR; ONG, 1998).

O balanço entre efeitos positivos e negativos determina o resultado das interações como um todo, em uma dada combinação agroflorestal. O entendimento de onde e como as interações ocorrem indica as possíveis modificações dominantes no sistema, que podem subsidiar diretamente as atividades de manejo (NAIR, 1993).

O princípio da complementaridade no uso dos recursos disponíveis, como água, luz e nutrientes, não totalmente explorados por uma única espécie, é considerado um fator chave na associação de árvores com culturas (CANNELL; VAN NOORDWIJK; ONG, 1996). O SAF ideal é aquele em que as espécies possam beneficiar-se de condições favoráveis, fornecidas mutuamente. Que essas se complementem em seus requerimentos, em lugar de competir, explorando os perfis vertical e horizontal da área de forma diferenciada, otimizando ao máximo os recursos disponíveis.

De uma maneira geral, ocorrem dois tipos básicos de interações nos sistemas agroflorestais: interações acima do solo e interações abaixo do solo. Nesta revisão, será dada ênfase às interações ocorridas acima do solo, por ser esse tema objeto de nosso estudo.

O fornecimento de sombra causa um efeito de complexas interações que se estende além da mera redução de calor e luz. Algumas são as mudanças microclimáticas ocorridas nos SAFs, ocasionadas pela presença das árvores; entre estas, estão redução da radiação solar, da temperatura do ar e do solo e da velocidade do vento (RAO; NAIR; ONG, 1998). Essas mudanças afetam diretamente a fotossíntese, a transpiração e o balanço de energia do cultivo associado.

A radiação solar é o fator que, por sua ação dominante sobre a fotossíntese traduz realmente melhor as potencialidades do meio que intervêm na produção de um

cultivo, na medida em que outros fatores (hídricos, minerais, pragas, etc) não sejam limitantes (JIMÉNEZ, 1995). Portanto, quando o crescimento não estiver limitado por água ou nutrientes, a quantidade de biomassa produzida por uma espécie é limitada pela quantidade de energia radiante que sua folhagem pode interceptar (BLACK; ONG, 2000). Numerosos estudos com culturas anuais e perenes têm demonstrado a existência de uma grande correlação entre produção de matéria seca e interceptação acumulada de radiação (ONG et al., 1996; BERNARDES et al., 1998b; BLACK; ONG, 2000; RIGHI, 2000).

Quantificar a transmissão da luz ao sub-bosque de um sistema agroflorestal é de grande importância, por ser um fator que define o potencial de produção das plantas que crescem nessas condições. Também é importante para entender as relações entre os componentes do sistema e intervir, por meio do manejo, de modo a maximizar a produtividade do sistema como um todo. Conforme Bernardes (1987) e Larcher (2000), atenuar a radiação na cobertura vegetal depende principalmente da densidade da folhagem, do arranjo das folhas no interior da vegetação e do ângulo existente entre as folhas e a radiação incidente.

Competição por luz é a primeira limitação em SAF, quando água e nutrientes estão disponíveis. Entretanto, em muitos sistemas tropicais, a disponibilidade de água (por ex. em regiões semi-áridas) ou de nutrientes (por ex. solos degradados, solos ácidos ou lixiviados) são os maiores fatores de limitação (ONG et al., 1996). Em tais locais, é possível aumentar a produtividade, usando-se uma mistura de espécies, de forma que elas capturem mais recursos disponíveis, ou usem-nos com maior eficiência para o crescimento do que os monocultivos.

## **2.1.2 Cafeeiro e sombreamento**

### **2.1.2.1 Considerações gerais**

O gênero *Coffea* pertence à família Rubiácea, que contém aproximadamente 100 espécies descritas. Dentre essas espécies, apenas a *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre têm expressão econômica no mercado internacional, representando, respectivamente, 70% e 30% da produção mundial de café (FAZUOLI, 1986; FAZUOLI et al., 2002). No Brasil aproximadamente 80% do café cultivado são da espécie arábica.

Tanto o café arábica como o canéfora são oriundos do continente africano. A espécie *Coffea arabica* é nativa de regiões altas (1600-2800 m de altitude) do sul da Etiópia, próximas à linha do Equador. É encontrada naturalmente como vegetação de sub-bosque de florestas tropicais, onde cresce sob constante sombreamento. O clima da região é ameno, com temperatura média anual em torno de 20°C e precipitações bem distribuídas durante o ano, variando de 1600 a 2000 mm, com um período seco bem definido de três a quatro meses (EVANOFF, 1994).

O cafeeiro pode ser conduzido a pleno sol e sombreado. Nos países da América Latina, é comum seu cultivo em associação com diversas espécies arbóreas, que, além de fornecerem sombra à cultura, têm outras finalidades, tais como o aumento da biodiversidade, a conservação do solo, a adubação verde, a produção de madeira, de lenha, de frutos e de outros produtos. No Brasil, é cultivado predominantemente a pleno sol, onde o melhoramento genético foi voltado para a adaptação da planta a essas condições. No entanto, sob esse sistema de cultivo, apresentam bialidade de produção e menor longevidade.

A associação de cafeeiro com espécies arbóreas, além de diversificar a fonte de renda dos agricultores, através do fornecimento de diferentes produtos oriundos das árvores, pode apresentar outros benefícios, tais como: maior biodiversidade e conservação ambiental, melhoria do microclima; proteção contra geadas; redução da bialidade de produção; redução da incidência de plantas daninhas; maior estabilidade de produção; redução da incidência de seca dos ponteiros; melhor qualidade do produto final, entre outros (FERNANDES, 1986; BEER, 1987; BEER et al., 1998; MUSCHLER, 1999).

No Brasil e no mundo, diversas pesquisas relacionadas ao sombreamento de cafeeiros têm sido desenvolvidas. Tais estudos envolvem desde espécies arbóreas como seringueira, grevilea, eucalipto, bracatinga, paricá, freijó, eritrina, coqueiro, ingazeiro, pupunheira, bananeira, cajueiro, entre outras, até o uso de sombrites, para simular a redução da radiação solar. Para Camargo (1990), uma prática essencial na condução da cafeicultura sustentada é o emprego da técnica da arborização, ou seja, o seu sombreamento ralo.

### 2.1.2.2 Alterações microclimáticas ocorridas com sombreamento

Os maiores benefícios ecofisiológicos que o cafeeiro recebe das árvores de sombra estão associados com a redução do estresse da planta, pela melhoria do microclima e do solo, através da redução da amplitude térmica; alteração na quantidade e na qualidade de radiação solar transmitida pelo dossel das árvores; redução da velocidade do vento; manutenção ou aumento da umidade do ar e do solo; melhoria ou conservação da fertilidade do solo, inclusive redução de erosão (BEER, 1987; FOURNIER, 1988; BEER et al., 1998; FARRELL; ALTIERI, 2002; CARAMORI et al., 2004).

O grau de modificação microclimática depende da intensidade de sombreamento promovido pelas árvores e das condições microclimáticas locais. A atenuação da intensidade de radiação em climas mais quentes e em altitudes menores (800 a 1000m) causa efeitos microclimáticos mais evidentes. Em regiões sub ótimas à cafeicultura, um sombreamento intermediário pode favorecer a produção, enquanto um sombreamento excessivo, maior que 80%, ou um sombreamento moderado, menor que 20%, podem reduzir a produção (MUSCHLER, 1999).

As modificações do microclima interferem no comportamento do cafeeiro, alterando as trocas gasosas, a anatomia, a morfologia, o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo, refletindo-se, conseqüentemente, em sua produtividade.

Diversos autores, Gómez e Jaramillo (1974); Jaramillo-Robledo (1976); Barradas e Fanjul (1986); Matiello et al. (1994); Caramori; Androcioli Filho e Baggio (1995); Morais et al. (2003); Pezzopane et al. (2003); Righi (2005) têm relatado as alterações microclimáticas ocorridas em cafeeiros sob sombra. Dentre esses, destaca-se o trabalho de Barradas e Fanjul (1986), que verificaram grandes diferenças microclimáticas entre cafeeiros a pleno sol e cultivados com sombreamento de *Inga jinicuil*, no México. O déficit de pressão de vapor, as temperaturas do ar e do solo e a velocidade do vento foram significativamente inferiores no sistema sombreado. As temperaturas máxima e mínima, durante o ano, foram em média 5,4°C menores e 1,5°C maiores, e a amplitude térmica foi 6,7°C menor no cultivo sombreado. Tais resultados são corroborados por outros autores, como Pezzopane et al. (2003), que também observaram maiores valores de temperatura mínima, durante os meses de inverno, em

Mococa - SP, no consórcio de cafeeiro com coqueiro anão verde, em relação ao pleno sol.

As regiões Sul e Sudeste estão sujeitas a geadas que podem causar danos ao cafeeiro e alguns experimentos têm demonstrado que cafezais sem árvores são mais afetados. A arborização com *Grevílea robusta*, em Varginha-MG, protegeu totalmente as plantas de cafeeiro de geada severa (MATIELLO et al., 1994). O plantio de árvores de bracatinga (*Mimosa scabrella*) em cafezais no Paraná também reduziu grandemente os danos causados por geadas, levando a um aumento, em mais de 50% da produção acumulada de sete anos (CARAMORI; ANDROCIOI FILHO; LEAL, 1996). Após verificarem danos mínimos, provocados por geadas, às folhas de cafeeiros mais próximos às árvores de grevileas, Caramori; Androcioli Filho e Baggio (1995) sugeriram o plantio dessa espécie no espaçamento de 10 x 15 m, para a arborização de cafeeiros, a fim de minimizar os danos provocados por geadas no estado do Paraná.

### **2.1.2.3 Ecofisiologia do cafeeiro sombreado**

As regiões com temperatura média anual entre 18° e 22°C são consideradas aptas para o cultivo do café arábica. Regiões com temperaturas médias anuais superiores a 23°C provocam grande precocidade no desenvolvimento e na maturação dos frutos, promovendo perda da qualidade do produto (CAMARGO, 1985). O cafeeiro cresce sob ampla faixa de precipitação. Áreas com precipitação anual entre 1.200 a 1.800 mm são consideradas aptas para a cultura. A distribuição ao longo do ano também deve ser considerada. Deficiências hídricas de até 150 mm são suportadas por essa espécie, principalmente quando não se estendem até a fase de floração (RENA; MAESTRI, 1987).

O cafeeiro é um arbusto de crescimento contínuo (RENA; MAESTRI, 1987). As condições ambientais, principalmente a temperatura do ar, a radiação, a precipitação pluviométrica e as características do solo estão entre os fatores que mais afetam o desenvolvimento da cultura, variando o grau de influência desses fatores com o estágio de desenvolvimento da planta (EVANOFF, 1994). Ressalta-se que pouco se sabe sobre o fator primário que condiciona a periodicidade de crescimento. As secas têm sido comumente associadas com a periodicidade de crescimento observada nas regiões

cafeiras, porém, em alguns casos, a época seca coincide com baixas temperaturas e dias curtos, o que certamente dificulta a identificação do fator primário.

Em Viçosa, o crescimento é rápido na estação quente e chuvosa (setembro-março) e lento na estação seca e fria (março-setembro), mesmo em cafeeiros irrigados. Uma diminuição no crescimento de ramos laterais e de folhas, de janeiro a fevereiro, foi atribuída às altas temperaturas e à elevada intensidade de radiação solar (BARROS; MAESTRI, 1974). O crescimento da parte aérea proporciona o crescimento dos ramos em cujos nós se desenvolverão os botões florais que determinarão a produção do ano seguinte.

O lançamento de folhas é um processo contínuo durante todo o ano, mas a sua taxa varia com as condições climáticas, sendo maior no período quente e chuvoso que no período seco e frio. A produção de folhas está intimamente associada ao crescimento dos caules, especialmente dos ramos laterais, tendo-se em vista que os primórdios foliares resultam diretamente da atividade da gema apical. O crescimento relevante, portanto, é aquele comprometido com a formação de nós, e não com a extensão dos entrenós, embora os dois processos estejam de algum modo relacionados (RENA; MAESTRI, 1987).

As variações sazonais no crescimento são intensamente influenciadas pela presença de flores e frutos, ou seja, há uma competição dentro da planta pelos metabólitos disponíveis (RENA; MAESTRI, 1987). Os frutos em crescimento são o dreno metabólico mais forte, limitando a mobilização de assimilados para os tecidos vegetativos e reduzindo o crescimento. A estreita interação entre o desenvolvimento vegetativo e o reprodutivo leva à necessidade de um equilíbrio entre ambos, uma vez que uma intensa alocação de fotoassimilados e de nutrientes para os grãos causa, freqüentemente, redução do crescimento das demais partes da planta, chegando a provocar a morte de ramos e/ou de seus ponteiros, normalmente acarretando redução da safra do ano seguinte (CANNELL, 1985).

As plantas, em geral, apresentam adaptações durante seu desenvolvimento, em função da quantidade e da qualidade de radiação local dominante. Plantas desenvolvidas sob intensa radiação apresentam um vigoroso sistema de ramos e folhas com menor superfície do limbo foliar, cujo mesófilo possui várias camadas de células,

ricas em cloroplastos. Como conseqüência dessas modificações anatômicas e de um metabolismo mais ativo, as plantas adaptadas a radiações intensas apresentam uma maior produção de matéria seca, bem como uma maior fertilidade e, conseqüentemente, maior produtividade (LARCHER, 2000). O cafeeiro é uma planta que não foge a essa regra, sendo considerado uma espécie de sombra facultativa (FAHL et al., 1994).

Righi (2005) verificou alta plasticidade em relação ao nível de irradiância disponível, em cafeeiros sombreados com seringueira. Com a redução da intensidade de radiação, as plantas apresentaram adaptações, como aumento da área foliar específica, redução do IAF e da densidade foliar, modificações na geometria da planta e no modo de interceptação e de uso da radiação, com menores arredondamento e volume da copa e maior altura do caule.

Sombreamentos excessivos podem reduzir o crescimento e a fotossíntese do cafeeiro. Carelli et al. (1999) não observaram diferenças significativas na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, na altura, na área foliar total, no número de pares de folhas por ramo ortotrópico e na massa foliar específica entre cafeeiros a pleno sol e com 50% de sombreamento. No entanto, tais variáveis decresceram significativamente a 80% de sombreamento. Voltan; Fahl e Carelli (1992) também constataram redução da massa foliar específica e aumento da área foliar individual, com o aumento do sombreamento em cinco cultivares de café arábica.

Cafeeiros sombreados com guandu (*Cajanus cajan* L.) apresentaram decréscimos na taxa fotossintética, na transpiração e no número de ramos plagiotrópicos e aumento na altura das plantas e na superfície do limbo das folhas, porém com menor acúmulo de matéria seca. As folhas também apresentaram menor espessura das células da cutícula e da parede celular, mesófilo com menor volume, porém com maiores espaços intercelulares, epidermes com células mais espessas e menor número de estômatos, envoltos com células subsidiárias de menores dimensões (MORAIS et al., 2003; MORAIS et al., 2004). A grande maioria dos trabalhos indica que o cafeeiro apresenta folhas tipicamente de sombra, muito provavelmente uma conseqüência direta de sua origem de sub bosque (DaMATTA; RENA, 2002). Em conseqüência, é uma planta que apresenta baixo ponto de compensação e de

saturação de luz, com irradiância de saturação de  $300 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  e  $600 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  para plantas ou folhas de sombra e sol, respectivamente (KUMAR; TIESZEN, 1980).

Kumar e Tieszen (1980) observaram que as taxas fotossintéticas de cafeeiros sob, diferentes intensidades de radiação e temperatura foram substancialmente maiores nas plantas sombreadas. Sob temperatura constante de  $25^{\circ}\text{C}$ , não houve redução na fotossíntese, mesmo a  $1200 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , demonstrando que a temperatura da folha é um dos fatores mais importantes na fotossíntese do cafeeiro. Ambos os grupos de plantas, de sol e de sombra, apresentaram temperatura ótima para fotossíntese, em torno de  $25^{\circ}\text{C}$ . O cafeeiro não tolera variações muito amplas de temperatura, sendo as médias abaixo de  $16^{\circ}\text{C}$  e acima de  $24^{\circ}\text{C}$  não muito adequadas, estando o ótimo entre  $18$  e  $21^{\circ}\text{C}$ . A partir de  $24^{\circ}\text{C}$ , cada aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  na temperatura atmosférica provoca uma redução de 10% na produção de matéria seca da planta, de tal modo que, a  $34^{\circ}\text{C}$ , o crescimento seria praticamente nulo (RENA; MAESTRI, 1986). A temperatura influi na resistência estomática, aumentando-a e, assim, diminuindo a taxa fotossintética.

Em avaliações com folhas isoladas de cafeeiros, tem-se verificado que a assimilação líquida de carbono é maior em condições de sombreamento do que a pleno sol. A menor eficiência de assimilação do carbono a pleno sol deve-se, principalmente, ao fechamento estomático (DaMATTA, 2004)

Freitas (2000), estudando o efeito de intensidades luminosas (30, 50, 70 e 100% de irradiância) no comportamento ecofisiológico de mudas de quatro cultivares de cafeeiro, observou maior taxa fotossintética e menor temperatura foliar nas plantas submetidas a 70% de sombreamento. Concluindo que a temperatura mais elevada nas folhas, em torno de  $45^{\circ}\text{C}$  nas plantas a pleno sol, pode ter sido a responsável pela menor taxa fotossintética dessas plantas. A condutância estomática e a transpiração aumentaram com o nível de sombreamento.

A captura de energia pela planta como um todo depende não somente da resposta fotossintética da folha individualmente, mas também de sua integração na copa e dos custos de produção e de manutenção de sua capacidade fotossintética (GIVINISH, 1988). Considerando-se a planta de cafeeiro, espera-se que sua fotossíntese global aumente a pleno sol, na medida em que as folhas internas passariam a contribuir mais expressivamente para a assimilação do carbono, por



receberem maior fluxo de fótons (DaMATA; RENA 2002). O fato de, em intensidade moderada de radiação solar, a fotossíntese da folha do cafeeiro ser maior do que a plena luz solar, não implica necessariamente maiores crescimento e produtividade, quando o cafeeiro é cultivado sob sombra.

Em cultivos arborizados, normalmente a folhagem externa encontra-se sob condições ideais para a fotossíntese; no entanto as folhas internas, devido ao auto-sombreamento da planta, recebem radiação fotossinteticamente ativa aquém do necessário para saturar o aparelho fotossintético. De modo oposto, a pleno sol, a irradiância, a temperatura e a demanda evaporativa da atmosfera elevadas poderiam acarretar na redução das taxas de fotossíntese na folhagem mais exposta, principalmente em decorrência de limitações estomáticas; contudo, as condições microclimáticas mais favoráveis no interior da copa poderiam acarretar em maior fotossíntese das folhas internas, compensando, potencialmente a menor atividade fotossintética das folhas mais externas. Os autores acrescentam que a nutrição adequada, sobretudo nitrogenada, é fundamental e que condições estressantes podem alterar os efeitos compensatórios da fotossíntese, entre a folhagem interna e a externa, principalmente em cafezais a pleno sol em espaçamentos grandes. Provavelmente esse é um dos motivos de o sombreamento resultar em maiores benefícios a cafeeiros cultivados em áreas marginais à cafeicultura (DaMATTA; RENA, 2002; DaMATTA, 2004).

#### **2.1.2.4 Produção**

O cafeeiro é uma planta que, diferentemente da maioria das culturas, leva dois anos para completar seu ciclo fenológico (CAMARGO; CAMARGO, 2001). No primeiro ano fenológico formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, que depois serão induzidas a se transformarem em gemas reprodutivas (GOUVEIA, 1984). O segundo ano inicia-se com a florada e vai até a fase de maturação dos frutos (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

O comportamento produtivo do cafeeiro sob sombreamento é muito variável, em função de fatores como condições locais de clima e de solo, cultivar de cafeeiro,

espécie sombreadora utilizada, espaçamento e arranjo das espécies, grau de sombreamento e manejo adotado no sistema.

Há bastante controvérsia acerca dos efeitos presumivelmente positivos da arborização sobre a produção de café. A literatura é farta em exemplos demonstrando incrementos, decréscimos ou invariabilidade da produção de café, em função da arborização (FOURNIER, 1988; DaMATTA; RENA, 2002; DaMATTA, 2004). Em condições ambientais adequadas e com a utilização intensiva de insumos, plantios a pleno sol normalmente produzem mais do que os arborizados. Todavia, alguns trabalhos mostram que em regiões marginais, ou seja, onde as condições de solo e de clima não são plenamente favoráveis à cultura, a prática de sombreamento pode beneficiar o cafeeiro aumentando sua produtividade (BEER et al., 1998; MUSCHLER, 1999).

Matiello et al. (1989), em experimento de oito anos na região serrana de Pernambuco, demonstraram a eficiência do sombreamento em superar adversidades climáticas, como a ação do vento e estiagens prolongadas. A produtividade média de 6 anos foi superior nos cafeeiros sob 50 e 75% de sombreamento, apresentando um aumento de 170% em relação ao cultivo a pleno sol. Marques (2000) também verificou um incremento de 14%, em relação ao monocultivo, na produção de café Conilon sombreado com pupunheira. Além do que a produção de palmito ( $1.708 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) poderia aumentar a equivalência de uso da terra e fornecer uma renda adicional ao produtor.

Conforme Fahl e Carelli (2004), baseados em experimentos conduzidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, sombreamento moderado com espécies arbóreas, em torno de 30%, favorece os processos fisiológicos, atenua o depauperamento das plantas e não reduz significativamente a produção.

No norte do Paraná, Baggio et al. (1997) não verificaram queda na produtividade de cafeeiros plantados sob *Grevillea robusta*, até uma densidade de 71 árvores por hectare. A produtividade econômica total foi maior no SAF com grevílea, nas densidades de 34 a 71 árvores por hectare. No entanto, os autores não quantificaram a intensidade de sombreamento nos sistemas. No México, Soto-Pinto et al. (2000) não observaram redução na produtividade de café por planta, até um limite de 50% de sombreamento. Melo e Guimarães (2000) também não observaram diferença

significativa na produtividade do cafeeiro quando consorciado com seringueira, mogno ou neen no Cerrado.

Em um experimento de cafeeiro com seringueira, em Patrocínio - MG, Freitas (2000) não verificou diferença significativa na produtividade de cafeeiros em monocultivo e no SAF, onde havia cinco fileiras de cafeeiro. No entanto, a produção do cafeeiro decresceu, quando o SAF foi composto por três fileiras de cafeeiro entre as seringueiras, ou seja, houve maior densidade de seringueira e, portanto maior sombreamento.

Em alguns casos, a baixa produtividade de cafeeiros sob sombreamento poderia ser compensada pelo menor investimento em insumos, pela maior estabilidade da produção, pelo maior número de colheitas, pelo fornecimento de outros produtos oriundos dos demais componentes do sistema, pela melhoria da qualidade do café e pela maior conservação ambiental. Em cafezais com sombreamento bem planejado e bem conduzido, espera-se que a equivalência de uso da terra seja superior à do monocultivo.

Hernandez; Beer e Von Planten (1997) verificaram, na Costa Rica, uma maior relação benefício/custo em SAF de cafeeiro com *Cordia alliodora* (100 árvores.ha<sup>-1</sup>), em relação a cafeeiros em monocultivo. A produtividade de café por planta foi similar nos dois sistemas de cultivo; no entanto, a produtividade por hectare foi inferior no SAF, devido à menor densidade de plantas na área. Os autores concluíram que o uso de sombra seria a melhor alternativa para pequenos agricultores da região, com limitada capacidade de investimento e mão de obra familiar.

Na Costa Rica, em uma região considerada ótima para o cultivo do cafeeiro (altitude de 1180 m), Vaast et al. (2005) observaram queda de 18% na produtividade do cafeeiro sob 45% de sombreamento; no entanto, houve uma maior estabilidade da produção, bem como uma melhoria na qualidade do café. Carelli; Fahl e Alfonsi (2002) observaram, em São Paulo, aumento significativo na produção acumulada de dois anos do cafeeiro, com o aumento da radiação disponível. Mesmo em condições moderadas de sombreamento (50 e 70% de radiação solar), a produção foi menor do que a pleno sol.

Cafezais mantidos a pleno sol encontram elevada potencialidade de produção, resultando em maior demanda de nutrientes pela planta e na morte dos ponteiros, diminuindo a longevidade das lavouras (CAMARGO, 1985; FAHL et al., 1994). A maior produtividade em plantios a pleno sol deve-se, principalmente, a dois fatores que atuam conjuntamente: um maior crescimento vegetativo das plantas, que acarreta em um maior número de nós nos ramos produtivos, bem como uma maior produção de inflorescências (CASTILLO; LOPEZ, 1966).

O cafeeiro produz poucas flores em seu ambiente nativo sombreado e não desenvolveu, ao longo de sua evolução, mecanismos para manter sua carga de frutos balanceada com a disponibilidade de carboidratos e minerais. Sob pleno sol, a planta produz muitas flores, tendo um grande carregamento de frutos, que são dreno preferencial. Essa alocação prioritária de carboidratos para os frutos, em detrimento da parte vegetativa da planta, promove um reduzido crescimento dos ramos, diminuindo a produção da planta no ano seguinte, uma vez que o cafeeiro leva dois anos para completar seu ciclo fenológico de produção (CANNELL, 1985). Portanto, o emprego da arborização ao reduzir a emissão de florais, além de evitar superproduções anuais, que podem levar ao depauperamento da planta, promove uma diminuição das flutuações bienais de produção e permite produções satisfatórias por mais tempo (DaMATTA; RENA, 2002).

Castillo e Lopez (1966) observaram que a diferenciação floral no cafeeiro e, conseqüentemente, a formação de frutos apresentam dependência da radiação solar que recebem os nós potencialmente floríferos. Os autores constataram um decréscimo no número de nós por ramo, no número de nós com flores, no número de inflorescências por nó e no número de flores por nó e por inflorescência, com a redução da disponibilidade de radiação às plantas. Para Kumar (1978), a menor diferenciação de gemas florais em cafeeiros pode ser devida ao aumento do nível endógeno de giberelinas, que tem efeito inibidor na formação de gemas florais. O autor observou elevadas concentrações desse hormônio em cafeeiros sob alta densidade de plantas, ou seja, sob grande auto-sombreamento, reduzindo a iniciação floral e a capacidade de produção das plantas. No entanto, a produtividade aumentou de 30-35% com a

aplicação de CCC (2-cloroetil-timetil-cloreto de amônia), um inibidor do crescimento, que retarda a biossíntese de giberelinas.

Campanha et al. (2004), avaliando cafeeiros em monocultivo e em SAF, verificaram menor número de nós produtivos, de botões florais, de retenção de frutos e de produtividade nas plantas sob sombreamento, atribuindo o fato à grande densidade de árvores no sistema, que promoveu uma baixa disponibilidade de radiação aos cafeeiros, influenciando a produção e o armazenamento de carboidratos para a formação de nós, para a produção e a manutenção de frutos. No entanto, o período de maturação dos frutos foi mais longo nesse sistema, o que pode promover uma melhoria na qualidade do café.

Para Camargo (1990), a prática do sombreamento, em muitos casos, tem falhado no Brasil. Certamente, a causa principal é a condução desacertada, quase sempre com sombreamento muito denso, tornando a iluminação aos cafeeiros insuficiente. Resultados experimentais e observações de campo mostram que as árvores de sombra não devem cobrir mais de 20 ou 30% dos cafezais. Somente em casos de áreas mais quentes e secas as coberturas podem chegar a 50%.

A análise concomitante de fatores como objetivos da produção, características ambientais e nível tecnológico disponível dará subsídios para a tomada de decisão sobre o uso, ou não, de arborização em cafezais. (MUSCHLER, 1999).

#### **2.1.2.5 Qualidade do café**

A exigência por cafés de qualidade, tanto no mercado nacional como no internacional é cada vez mais intensa. A qualidade transformou-se num fator imprescindível para a manutenção de mercados cativos e para a conquista de novos mercados. Enquanto o consumo mundial de cafés cresce ao ritmo lento (1,5% ao ano), a participação de cafés especiais<sup>1</sup> no mercado de dispara. A comercialização desses cafés subiu, em média, 9% ao ano na década de 90. Os consumidores querem qualidade e demonstram disposição para pagar por tal, sendo os norte-americanos e os europeus os principais entusiastas desse novo hábito (MELLO, 2001). Alguns produtos

---

<sup>1</sup> Considerados os cafés gourmet, com certificado de origem, variedade ou processamento agrícola, orgânicos, descafeinados e aromatizados.

agrícolas têm seus preços baseados em parâmetros qualitativos no Brasil; dentre eles, destaca-se o café, cujo valor acresce significativamente com a melhoria da qualidade, a qual é também um fator limitante para a exportação (CARVALHO; CHAGAS; SOUZA, 1997). A pequena preocupação no país, em épocas passadas, com relação à qualidade de seu café, foi um dos principais fatores da constante perda de mercados internacionais, além da baixa cotação do produto, em confronto com a de outros países (PIMENTA, 2003).

Diante disso, observa-se que a qualidade do café é um dos aspectos de suma importância do sistema de produção e deve ser incluída nas discussões de sombreamento da cultura. A qualidade do café está diretamente relacionada aos diversos constituintes físico-químicos, responsáveis pela aparência do grão torrado, pelo sabor e pelo aroma característicos das bebidas (PIMENTA, 2003). Conforme Pereira (1999), a qualidade do café é função de fatores edafo-climáticos, de espécies e variedades adotadas, de manejo da cultura no campo e do período de colheita e pós-colheita. Diversos parâmetros têm sido utilizados para a classificação de cafés. No Brasil, a classificação oficial baseia-se no tipo, na peneira, na cor e nas características sensoriais da bebida (PIMENTA, 2003). A bebida, avaliada pela análise sensorial ou prova da xícara, é segundo Fonseca et al. (1995), o fator mais importante na determinação da qualidade do café. Os efeitos positivos do sombreamento sobre a qualidade do café, em variáveis como maturação do fruto, tamanho dos grãos, características químicas e sensoriais da bebida, foram demonstrados por poucos pesquisadores, entre eles Guyot et al. (1996), Matiello (1999); Muschler (2001), Morais (2003), Jaramillo-Botero et al. (2004) e Vaast et al. (2005) e Vaast (2005).

Cortez (1997) verificou que o intervalo entre a florada e a maturação do fruto era alterado à medida que os plantios se localizavam em altitude mais elevada, no estado de Minas Gerais. Ciclos mais longos foram encontrados em locais de plantio de menor radiação solar e de menor temperatura ambiente, durante a fase de desenvolvimento do fruto. Segundo o autor, ciclos mais longos entre a florada e a maturação favorecem a qualidade do café pela complementação da fase de transformações químicas; entretanto, um ciclo longo demais favorece a ocorrência de processos fermentativos deletérios à qualidade e à formação de grãos imperfeitos do café. Androcioli Filho et al.

(2003), também observaram em algumas regiões paranaenses, relação inversa entre o aumento da temperatura média anual e a qualidade do café produzido; confirmando que temperaturas amenas, como as que ocorrem em condições de sombreamento, têm efeitos positivos na qualidade do café. Estudos relativamente recentes na América Central (GUYOT et al., 1996; MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2005; VAAST, 2005) também têm demonstrado que altitudes elevadas, bem como sombreamento promovem qualidade no café, devido às condições climáticas mais amenas, que proporcionam um período mais longo de maturação do fruto.

No cafeeiro a pleno sol, o amadurecimento é forçado pelo excesso de radiação solar e de temperatura, não propiciando, ao fruto, desenvolver as propriedades organolépticas que conferem qualidade à bebida. Não é raro observarem-se frutos que passam rapidamente do estágio de verde a maduro, sem o devido acúmulo de massa, necessário para a sua formação adequada, ocasionando elevado número de grãos chochos, malformados e com peneiras baixas. Ao reduzir o excesso de produção e desacelerar o processo de maturação, uma arborização bem manejada pode atenuar esses problemas e propiciar a colheita de grãos melhor formados, de peneiras maiores e com melhor qualidade de bebida (CARAMORI et al., 2004)

Guyot et al. (1996), estudando os efeitos da sombra no café arábica cv. Catuaí, na Guatemala, observaram um ligeiro aumento no tamanho dos grãos com o sombreamento, bem como no conteúdo de diversos compostos químicos: ácido clorogênico (10%), acidez total (16%), cafeína (4%) e sacarose (3%). Todavia, houve um decréscimo de 10% no conteúdo de trigonelina. A única propriedade organoléptica afetada significativamente pelo sombreamento foi o amargor, que decresceu 18%.

Trabalhando em zona subótima para o cafeeiro na Costa Rica, Muschler (2001) estudou o efeito de vários regimes de radiação solar em duas variedades de café cv. Caturra e Catimor. Ambas as variedades exibiram um significativo aumento no peso dos frutos frescos, no tamanho dos grãos, no corpo, na acidez e uma melhoria na aparência visual dos grãos, nos cafeeiros sob sombreamento. Contudo, o aroma não foi alterado no cultivar Caturra e foi afetado negativamente com o sombreamento, no cultivar Catimor. Salazar et al. (2000), no mesmo país, também observaram aumento na fração de grãos de tamanho grande e melhoria nas características físicas e organolépticas do

café à sombra, sendo esse efeito mais pronunciado em altitude inferior a 700 m. A sombra favoreceu os atributos de qualidade em altitudes de até 1300 m.

Em regiões sub-ótimas a cafeicultura (altitude menor que 800 m e temperatura média diária maior que 25°C), o sombreamento pode prolongar o período de maturação dos frutos, em estágio cereja, em até seis semanas. Resultando em grãos de maior tamanho, devido a um maior enchimento destes, e na melhoria da composição bioquímica e qualidade da bebida. A bebida de café, oriunda de cultivo a pleno sol, apresentou menor acidez, maior amargor e adstringência (VAAST, 2005). Matiello (1999), trabalhando com café conilon, em Minas Gerais, verificou igualmente que a arborização provocou um retardamento no processo de maturação dos frutos e um pequeno aumento no tamanho destes, bem como dos grãos. Jaramillo-Botero et al. (2004) observaram maior uniformidade de maturação dos frutos nas plantas do cultivar Catuaí Vermelho, sob maior índice de sombreamento, em Minas Gerais.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Caracterização da área experimental**

A pesquisa foi conduzida no período de janeiro de 2002 a agosto de 2005, no Campo Experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, em Piracicaba-SP, localizado nas coordenadas geográficas 22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e altitude de 556 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é mesotérmico Cwa, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual é de 21,4°C e médias mensais de 24,8°C no verão e 17,1°C no inverno. A precipitação média anual é de 1.278 mm, distribuídos em 1.000 mm de outubro a março e 278 mm entre abril e setembro. O solo da área é classificado como Nitosolo Vermelho, Eutroférico, latossólico, textura argilosa, A moderado, com declividade de até 1,5%.

O experimento foi composto de seringueira do clone PB 235, plantada em dezembro de 1991, no espaçamento de 8,0 x 2,5 m e cafeeiro cv. Obatã IAC 1669-20, plantado em janeiro de 2002, no espaçamento de 0,9 x 3,4 m. Os cafeeiros foram plantados sob diferentes condições de luminosidade, no sub-bosque do seringal (sob o



dossel das seringueiras), interfaceando as árvores de seringueira e em monocultivo (pleno sol).

Durante a instalação do experimento, efetuou-se uma caracterização das seringueiras, plantas sombreadoras do cafeeiro, que se encontravam em média com altura total de 12,1 m, altura do tronco de 2,7 m, diâmetro a altura do peito (DAP) de 18,1 cm e diâmetro da copa de 4,7 m.

As mudas de cafeeiro, oriundas de semeadura direta em sacolas plásticas, foram plantadas no campo aos 9 meses de idade. O manejo das culturas foi conduzido conforme as recomendações técnicas para cada espécie, sendo o cafeeiro irrigado por gotejamento. A radiação solar disponível aos cafeeiros foi mensurada por Righi (2005) que conduziu experimento na mesma área. O mesmo utilizou tubos solarímetros (TS-UM-3, Eijkelkamp), instalados acima das copas dos cafeeiros e conectados a uma estação automática de coleta de dados (Delta-T Device Inc.), conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 - Vista parcial da disposição dos tubos solarímetros sobre a copa dos cafeeiros e da estação automática de coleta de dados no interior do seringal, em Piracicaba-SP

## 2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com 11 tratamentos e 4 repetições. As parcelas foram formadas por 6 plantas úteis de cafeeiro, selecionadas aleatoriamente, totalizando 264 plantas.

Os tratamentos foram compostos pelo gradiente de radiação solar disponível aos cafeeiros localizados dentro do seringal, na interface das seringueiras e em monocultivo (pleno sol). Ressalta-se que o gradiente de radiação foi fornecido em função das distâncias das linhas de cafeeiro em relação às árvores de seringueira (-13,7; -10,3; -5,7; -2,3; 1,5; 4,9; 8,3; 11,7; 15,1; 18,5 m) e a pleno sol, sendo respectivamente de 25; 30; 35; 40; 45; 80; 90; 95; 98; 99 e 100%.

Ressalta-se que as distâncias foram medidas a partir da primeira linha de seringueiras (marco zero), sendo as distâncias negativas referentes às linhas de cafeeiro no interior do seringal e as positivas, as linhas de cafeeiro interfaceando o seringal. O tratamento a pleno sol localizou-se nos cafeeiros, fora da interferência das seringueiras, com disponibilidade de 100% de radiação natural (Figuras 2 e 3).

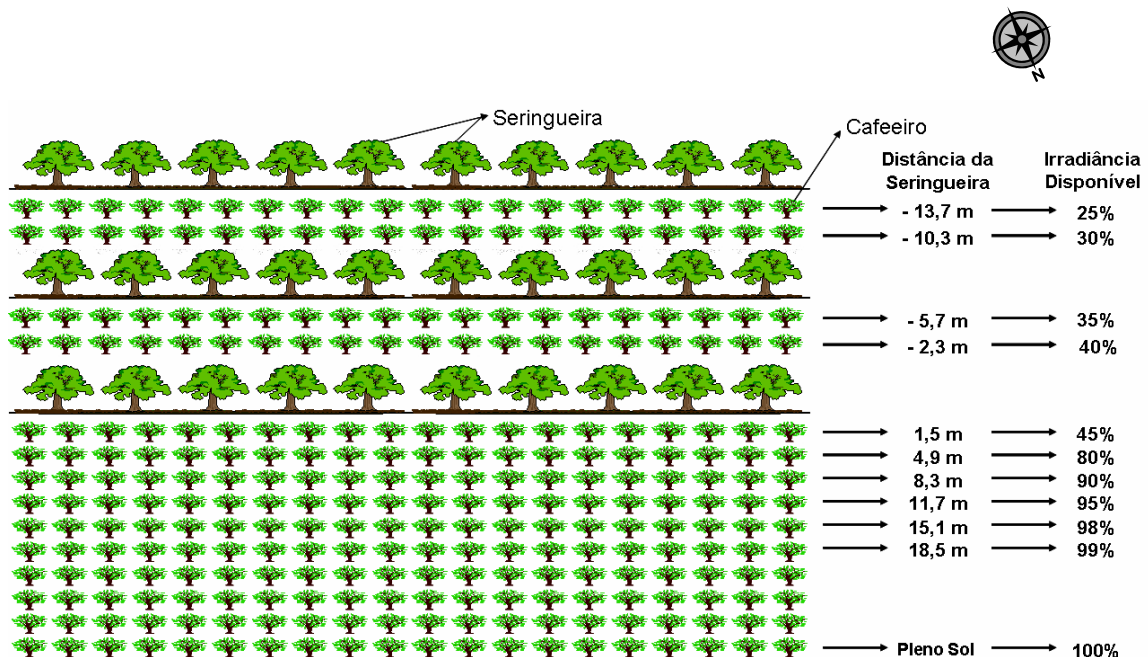


Figura 2 - Desenho esquemático com a disposição das culturas na área experimental, em Piracicaba-SP

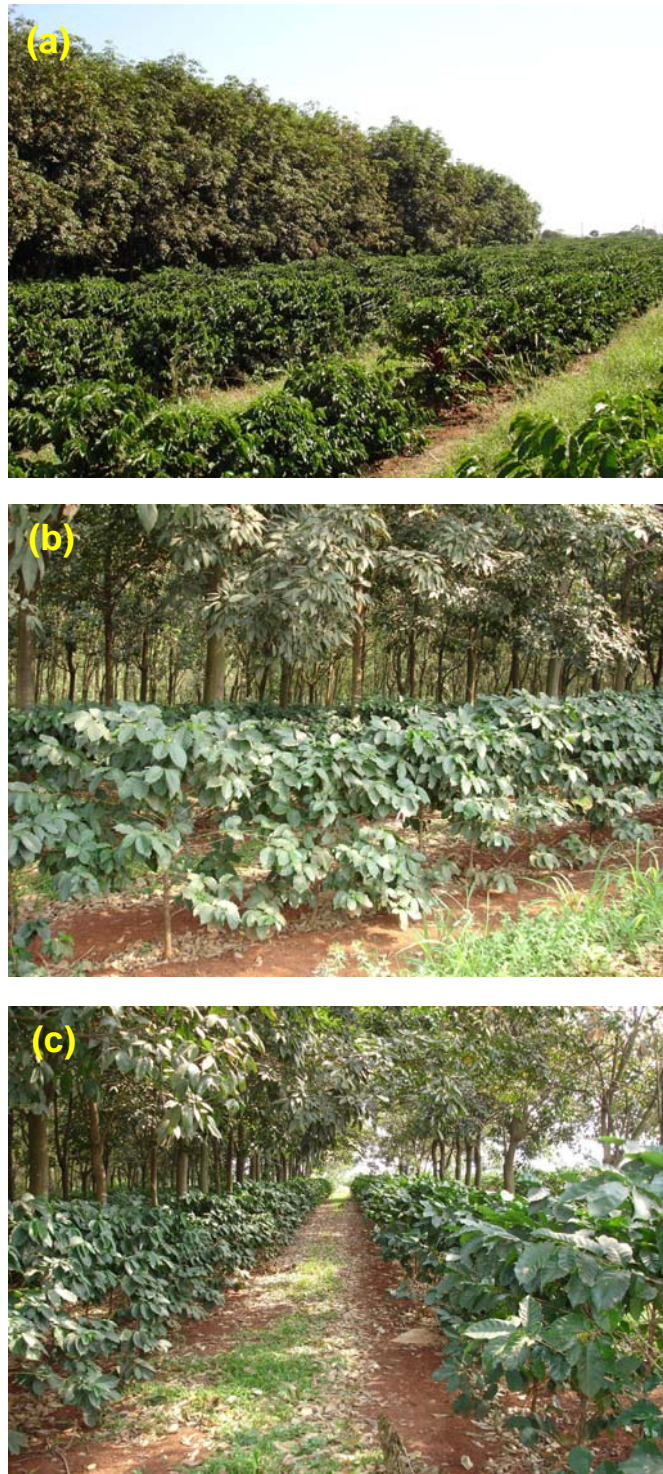


Figura 3 - Vista parcial da interface seringueira-cafeeiro (a) e (b), vista parcial dos cafeeiros no interior do seringal (c)

## **2.2.3 Variáveis analisadas**

### **2.2.3.1 Análise de crescimento do cafeeiro**

Para a análise de crescimento do cafeeiro, utilizaram-se duas formas de avaliações das plantas: não destrutiva e destrutiva, conforme descritas a seguir:

#### **2.2.3.1.1 Avaliações não destrutivas das plantas**

As amostras foram constituídas de 6 plantas por parcela, selecionadas aleatoriamente, com 4 repetições (blocos) e 11 tratamentos, totalizando 264 plantas. Os cafeeiros foram avaliados semestralmente, perfazendo-se 6 avaliações (8, 14, 20, 26, 32 e 38 meses após o plantio), quando foram analisadas as seguintes variáveis:

##### **- Diâmetro do caule**

O diâmetro do caule foi medido a 5 cm do solo, utilizando-se um paquímetro.

##### **- Diâmetro da copa**

Avaliado com uma régua graduada, colocada transversalmente aos ramos ortotrópicos em dois sentidos (linha e entrelinha), onde se mediu a distância entre o primeiro par de folhas presentes nos ramos plagiotrópicos opostos.

##### **- Altura da planta**

A altura dos cafeeiros foi determinada com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo até a gema apical do ramo ortotrópico.

##### **- Altura inicial da copa**

Avaliada também com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo da planta até o ponto de inserção do ramo plagiotrópico mais baixo.

### **- Área foliar total (AFT)**

A área foliar total de cada planta foi obtida utilizando-se um método não destrutivo, conforme a equação (1) a seguir:

$$AFT = N \times Fm \quad (1)$$

Onde:

N = número de folhas da planta;

Fm = área da folha média de cada planta.

A área foliar da folha média foi determinada através do produto do seu comprimento por sua maior largura, multiplicando-se por um fator de correção K (0,6862). Esse fator foi calculado por meio da correlação linear entre a área de 100 folhas, mensurada com o integrador de área foliar – Li-3100 (Li-COR Inc) e o produto do comprimento e da largura dessas folhas. Ressalta-se que não foram coletados dados referentes a essa variável durante a 5ª avaliação, pois as plantas já se encontravam muito desenvolvidas, ficando inviável a coleta desses dados.

#### **2.2.3.1.2 Avaliações destrutivas das plantas**

As análises destrutivas dos cafeeiros foram efetuadas aos 38 meses após o plantio. As amostras foram constituídas de uma planta por parcela, com 4 repetições, uma em cada bloco. No campo, efetuou-se um corte nas plantas, rente ao solo, sendo estas levadas imediatamente ao laboratório, para determinarem-se as variáveis descritas a seguir:

#### **- Massa seca da parte aérea**

Para a quantificação da matéria seca, separaram-se caule, ramos, folhas e frutos, objetivando avaliar a partição de matéria seca da parte aérea. Essas partes foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa, com ventilação forçada a 70°C, até peso constante; posteriormente, foram pesadas.

### **- Número de ramos plagiotrópicos primários e secundários**

Determinou-se o número de ramos plagiotrópicos primários e secundários por contagem direta ao longo dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos primários, respectivamente.

### **- Número de nós e comprimento dos internódios dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos primários**

Para avaliação do comprimento dos internódios e número de nós dos ramos plagiotrópicos, selecionou-se os pares de ramos de número 12 e 13, no sentido do ápice para a base da planta, que se localizavam no terço médio da planta. Caso encontrassem ausentes, as medições eram realizadas nos ramos consecutivos. Efetuou-se a contagem direta do número de nós no ramo ortotrópico e plagiotrópicos primários. Mediu-se o tamanho do ramo ortotrópico e dos ramos plagiotrópicos selecionados. Os valores obtidos foram divididos pelo número de nós existentes nos ramos para obtenção do comprimento dos internódios.

#### **2.2.3.1.3 Índices de crescimento e morfológicos calculados**

Utilizando-se de algumas medidas destrutivas, efetuou-se o cálculo das variáveis indicativas de crescimento e de forma do cafeeiro. As taxas assim calculadas concernem um período de 30 meses, ocorridos entre a primeira coleta, aos 8 meses após plantio da cultura, e a última coleta de dados, ocorrida aos 38 meses após o plantio.

A matéria seca das plantas de cafeeiro aos 38 meses foi obtida na avaliação destrutiva das plantas, descrita anteriormente. A matéria seca aos 8 meses foi obtida através de uma equação para estimativa de biomassa, descrita a seguir:

$$M = [(d/2)^2 \cdot \pi \cdot h \cdot FF \cdot DC + AF \cdot PFE] \cdot AMR \quad (3)$$

Onde:

M = massa seca total (g);

d = diâmetro basal (cm);

h = altura total (cm);

FF = fator de forma do caule, estimado em 0,47;

DC = densidade do caule, estimado em  $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ ;

AF = área foliar ( $\text{m}^2$ ), obtida pela multiplicação do número de folhas por planta pela área da folha média;

PFE = peso foliar específico ( $\text{g.m}^{-2}$ ), obtido através da divisão do peso de uma amostra de folhas pelo respectivo área, variando para cada tratamento, conforme avaliação destrutiva da planta;

AMR = adicional da massa dos ramos em relação a massa do restante da planta, estimada em 1,25.

Para o cálculo das taxas e índices de crescimento da planta utilizou-se as equações sugeridas por Causton e Venus (1981) e Benincasa (2003), descritas a seguir:

**- Taxa de assimilação líquida (TAL)**

$$\text{TAL} = [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)] \cdot [(\log_e A_2 - \log_e A_1)/(A_2 - A_1)] \quad (4)$$

**- Razão de área foliar (RAF)**

$$\text{RAF} = \text{AF} / \text{MS}_{\text{total}} \quad (5)$$

**- Área foliar específica (AFE)**

$$\text{AFE} = \text{AF} / \text{MS}_{\text{folha}} \quad (6)$$

**- Índice de área foliar (IAF)**

$$\text{IAF} = \text{AF} / A_{\text{copa}} \quad (7)$$

**- Taxa de crescimento absoluto (TCA)**

$$\text{TCA} = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \quad (8)$$

**- Taxa de crescimento relativo (TCR)**

$$\text{TCR} = (\log_e W_2 - \log_e W_1) / (T_2 - T_1) \quad (9)$$

Onde:

$T_1$  = idade da planta no tempo 1 (meses);

$T_2$  = idade da planta no tempo 2 (meses);

$W_1$  = matéria seca da planta no tempo 1 (g);

$W_2$  = matéria seca da planta no tempo 2 (g);

$A_1$  = área foliar no tempo 1 ( $m^2$ );

$A_2$  = área foliar no tempo 2 ( $m^2$ );

$AF$  = Área foliar da planta ( $m^2$ );

$MS_{total}$  = massa seca total da planta (g);

$MS_{folha}$  = massa seca das folhas da planta (g);

$A_{copa}$  = área de projeção da copa, sendo considerada circular ( $m^2$ ).

### 2.2.3.2 Produção do cafeeiro

Quando os cafeeiros estavam com aproximadamente dois anos e meio, realizou-se a primeira colheita. Efetuaram-se duas avaliações relativas à produtividade, referentes às safras dos anos 2004 e 2005. Para avaliar-se a produção, foi utilizada uma amostra de 6 plantas por parcela. A produtividade foi determinada através da massa, em quilogramas, de café produzido por parcela. Os dados foram posteriormente transformados em quilogramas por planta.

#### - Peso do café coco

A colheita foi efetuada manualmente, sendo os frutos derrichados no pano e colocados para secar ao sol, até atingir umidade próxima a 11%, obtendo-se o café coco.

#### - Peso do café beneficiado

O café coco foi beneficiado para a retirada da polpa e do pergaminho. Para uniformizar a umidade das sementes, efetuou-se a determinação do peso e da umidade das amostras beneficiadas, que, aplicados na equação abaixo, forneceram o peso corrigido para a umidade equivalente a 11%.

$$P_{11\%} = PB (100-UB) / (100-11) \quad (10)$$



Onde:

$P_{11\%}$  = peso do café beneficiado, corrigido a umidade de 11%;

PB = peso do café beneficiado;

UB = umidade do café beneficiado.

### - Índice de bienalidade de produção

Objetiva medir a intensidade dos ciclos bienais de produção, indicando a diferença de produção da planta de um ano para o outro. Esse dado é obtido pela razão entre a produtividade da safra atual (ano em curso) e a anterior.

### - Rendimento

O rendimento foi obtido pela razão entre o peso do café beneficiado e o peso do café coco.

## 2.2.3.3 Qualidade do café

### - Maturação dos frutos

Para estimar a maturação dos frutos retirou-se uma amostra de 300g de café da roça de cada parcela, que foram quantificadas através de contagem e classificadas da seguinte forma:

- **Verdes** - frutos com casca (exocarpo) de coloração verde e esverdeada, que não tinham alcançado sua maturidade fisiológica;
- **Maduros** - frutos com exocarpo avermelhado, vermelho e vermelho escuro;
- **Secos** - frutos que já tinham passado de sua maturidade fisiológica, apresentando exocarpo de cor marrom e com aspecto desidratado.

### - Classificação do café por peneira

A classificação do café por peneira, que se baseia no tamanho dos grãos, foi efetuada em amostras de 300 g de café beneficiado, por parcela. As amostras foram colocadas em uma máquina elétrica vibratória, contendo um conjunto de peneiras com malhas de furos circulares e diâmetros de diferentes dimensões: 18/64", 17/64", 16/64",

15/64", 14/64", 13/64" e 12/64". Os grãos retidos em cada peneira foram quantificados, através de pesagem, e posteriormente classificados da seguinte forma:

- Grandes (peneiras 17 e 18);
- Médios (peneiras 15 e 16);
- Miúdos (peneiras 12 , 13 e 14).

#### **- Análise sensorial**

A qualidade da bebida foi determinada através de análise sensorial ou prova da xícara. Esta foi efetuada pela equipe de provadores do Café Toledo Ltda, segundo as Normas Oficiais para Classificação e Degustação de Café, descritas por Toledo e Barbosa (1998).

Para a determinação dessa variável, utilizaram-se apenas grãos cereja, que foram colhidos e secos separadamente. As amostras foram formadas por 300 g de café beneficiado, sendo a torração e a moagem efetuadas pela equipe de provadores do Café Toledo. Ressalta-se que, no ano de 2004 (primeira safra), os tratamentos com maiores níveis de sombreamento (25 e 30% de radiação) não apresentaram produção suficiente para a retirada de amostras, sendo esta análise efetuada apenas em 9 tratamentos. Problemas alheios a nossa vontade impossibilitaram o preparo adequado das amostras para a análise sensorial da safra de 2005, ficando a referida safra sem essa avaliação.

Foi atribuído um conceito global considerando o resultado da análise como a associação da prova física e da prova sensorial, variando de 0 (zero) a 5 (cinco) em escala crescente da pior para a melhor. As notas mais baixas foram dadas para as amostras que apresentaram severas discrepâncias entre as provas (aspecto ruim, seca má, bebida fermentada, etc.); as melhores notas foram dadas quando se observou uma equivalência entre a prova física e a análise sensorial (aspecto bom, seca boa, seleção de peneiras e bebida limpa). A nota máxima foi conseguida quando o provador considerou haver (além da boa apresentação da amostra) um balanceamento entre as características sensoriais (corpo, aroma, acidez) da bebida, sem que houvesse nenhuma predominância de algum componente.

## **2.2.4 Análise estatística**

Realizou-se inicialmente uma análise exploratória dos dados relativos ao crescimento e à produtividade, para verificar a normalidade e a homogeneidade de variâncias dos mesmos. Como satisfaziam os pressupostos básicos para a análise estatística paramétrica, procedeu-se à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, para cada época de avaliação, utilizando-se o programa estatístico The SAS System, versão 8.0. Posteriormente, efetuou-se a análise de regressão para as variáveis que apresentaram resultado significativo, aplicando-se modelos matemáticos que melhor se ajustavam aos dados, utilizando o programa Curve Expert, versão 1.38.

Os dados referentes a qualidade do café não atenderam alguns dos pressupostos básicos para validação da análise de variância. Desta forma, utilizou-se apenas a média e representação gráfica dos dados.

## **2.3 Resultados e Discussão**

### **2.3.1 Análise de crescimento do cafeeiro**

#### **2.3.1.1 Avaliações não destrutivas das plantas**

##### **- Diâmetro do caule**

O diâmetro do caule do cafeeiro foi afetado significativamente ( $p < 0,01$ ) pela disponibilidade de radiação solar, em todas as épocas de avaliação (Figura 4). A diferença proporcional entre os tratamentos diminuiu com o passar do tempo. Na 1ª avaliação, o diâmetro do caule para o tratamento mais sombreado foi de 4,6 mm, enquanto para o tratamento a pleno sol foi de 9,0 mm, o que representou um aumento de 98%. Essa diferença proporcional foi diminuindo nas demais avaliações, sendo que na 6ª avaliação os valores foram de 28,5 e 42,7 mm, para o tratamento sob maior sombreamento e o exposto a pleno sol, respectivamente, representando um aumento de 50%. As regressões exponenciais (Tabela 1), entre a porcentagem de irradiância disponível e o diâmetro basal, demonstram a estreita relação entre essas duas variáveis, com uma tendência assintótica dada pelo expoente negativo. Essa conformação das curvas assemelha-se àquelas da curva de saturação de fotossíntese pela folha, em resposta à irradiância. O incremento, em diâmetro do caule, nos

períodos iniciais de avaliação foram maiores do que nos últimos períodos, quando as plantas já tinham entrado na fase reprodutiva e os frutos passam a competir por fotoassimilados, uma vez que são o dreno principal.

Tais resultados discordam dos observados por Rodriguez et al. (2001), que estudando o crescimento de cafeeiros em Cuba, sob diferentes níveis de irradiância (70, 85 e 100%), encontraram, como nível ótimo de radiação para o diâmetro do caule, 85%.

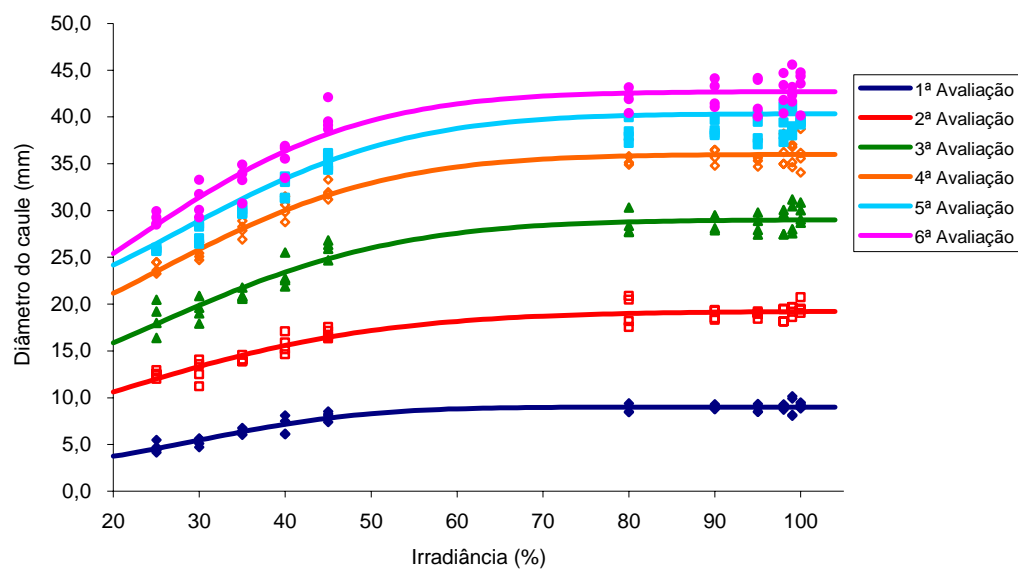


Figura 4 - Diâmetro do caule do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Tabela 1 - Equações de regressão entre a variável independente, irradiância disponível (%) e a variável dependente, diâmetro do caule do cafeeiro (mm), em 6 épocas de avaliação, em Piracicaba-SP

Avaliação	Equação de regressão <sup>(1)</sup>	r <sup>2</sup>
1ª	$y=9,0038-6,5729*\exp(-0,000122*x^{2,5076})$	0,8997
2ª	$y=19,2274-12,7031*\exp(-0,002453*x^{1,6898})$	0,9104
3ª	$y=29,012-17,9181*\exp(-0,001015*x^{1,9099})$	0,9151
4ª	$y=36,008-20,2293*\exp(-0,000824*x^{1,9782})$	0,9480
5ª	$y=40,3481-20,9164*\exp(-0,00048*x^{2,0982})$	0,9454
6ª	$y=42,7144-25,0482*\exp(-0,001303*x^{1,8864})$	0,9073

<sup>(1)</sup> Modelo de Weibull

r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

### **- Altura da planta**

Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) da disponibilidade de radiação solar sobre a altura dos cafeeiros, em todas as épocas avaliadas. A altura média das plantas, na primeira e última avaliação, foi, respectivamente, de 33,82 e 145,53 cm.

Tais resultados estão de acordo com os estudos realizados por Carelli; Fahl e Alfonsi (2002), que trabalharam com esse mesmo cultivar, e Fahl et al. (1994) e Salgado (2004), os quais, avaliando outros cultivares, em sistemas sombreados e a pleno sol, não encontraram diferença significativa na altura das plantas. No entanto, discordam de Carelli et al. (1999), que observaram menor crescimento, em altura, em mudas de cafeeiros com excesso de sombreamento (30% de radiação solar) e não detectaram diferença significativa entre as plantas a pleno sol e com 50% de sombreamento. Morais et al. (2003) não observaram efeito imediato do sombreamento sobre a altura das plantas nas avaliações iniciais; contudo, nas medições posteriores as plantas sombreadas apresentaram maior altura. Rodriguez et al. (2001), estudando o crescimento de cafeeiros em Cuba, constataram como nível ótimo de radiação para essa variável, 85%.

A ausência de efeito do sombreamento na altura dos cafeeiros pode ser devida à sua origem de sub-bosque e, mesmo sendo cultivados predominantemente a pleno sol em alguns países, são considerados como uma espécie de sombra facultativa. No entanto, apesar de as plantas terem atingido altura similar em todos os tratamentos, observou-se um maior comprimento dos internódios do ramo ortotrópico nos sombreados, o que demonstra um leve estiolamento das plantas, mas não o suficiente para sobrepor a altura dos cafeeiros sob maior irradiância.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004) e Majerowicz e Peres (2004), as plantas que alongam o caule, em resposta ao sombreamento, o fazem como forma de evitar a baixa irradiância. O sombreamento de plantas de sol induz estas a alocarem uma maior parte de seus recursos para crescer em altura, por meio do alongamento dos entrenós, o que não ocorre com a maioria das plantas tipicamente de sombra, as quais normalmente já crescem em ambientes sombreados. Estas apresentam pouco ou nenhum estiolamento. Deste modo, parece haver relação sistemática entre o crescimento controlado pelo fitocromo e o habitat da espécie. Tais resultados são tomados como

uma indicação do envolvimento do fitocromo na percepção da sombra. Para uma planta de sol, existe um claro valor adaptativo em alocar seus recursos em direção a um crescimento mais rápido em extensão (estiolamento), quando ela é sombreada por outra planta. Desse modo, ela pode aumentar suas chances de crescer acima do dossel e adquirir uma maior porção de radiação fotossinteticamente ativa não filtrada.

### - Altura inicial da copa

A altura inicial da copa dos cafeeiros, dada pela inserção do ramo plagiotrópico mais baixo, foi afetada significativamente ( $p < 0,01$ ) pela disponibilidade de radiação às plantas, em todas as épocas de avaliação. Houve um decréscimo linear no valor dessa variável, com o aumento da radiação solar (Figura 5). O incremento da altura inicial da copa foi maior nos dois últimos períodos, entre a 4ª e a 5ª avaliações, bem como entre a 5ª e a 6ª, provavelmente devido ao efeito de auto-sombreamento da copa.

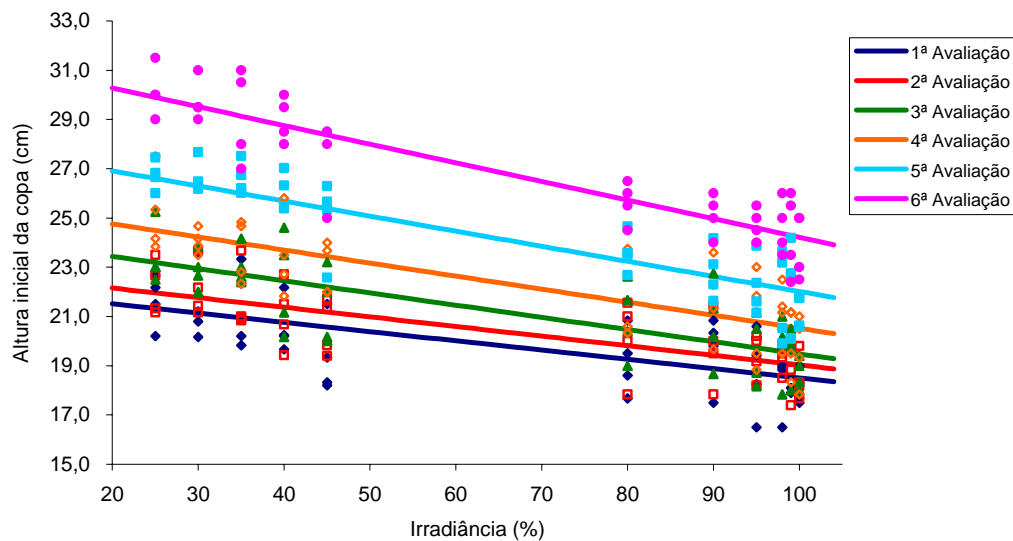


Figura 5 - Altura inicial da copa do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Tabela 2 - Equações de regressão entre a variável independente, irradiância disponível (%) e a variável dependente, altura inicial da copa do cafeeiro (cm), em 6 épocas de avaliação, em Piracicaba-SP

Avaliação	Equação de regressão <sup>(1)</sup>	r <sup>2</sup>
1 <sup>a</sup>	$y=22,2722-0,0377*x$	0,4428
2 <sup>a</sup>	$y=22,9367-0,0391*x$	0,5360
3 <sup>a</sup>	$y=24,4286-0,0495*x$	0,5822
4 <sup>a</sup>	$y=25,8181-0,053*x$	0,5573
5 <sup>a</sup>	$y=28,6837-0,0693*x$	0,7828
6 <sup>a</sup>	$y=31,7866-0,0757*x$	0,8041

<sup>(1)</sup> Modelo linear

r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

Diante desses resultados e uma vez que não houve diferença significativa na variável altura das plantas, conclui-se que houve um achatamento da copa à medida que a disponibilidade de radiação diminuiu, como também observado por Righi (2005).

Com o crescimento da planta, aumenta o auto-sombreamento provocado pelas folhas e pelos ramos da copa do cafeeiro. Assim, as folhas localizadas nos ramos inferiores passam a receber radiação abaixo do seu ponto de compensação de luz, que segundo Hopkins (1995), são descartadas pela planta. Em seguida, esses ramos também são eliminados, promovendo o aumento na altura inicial da copa. O fato ocorre com maior intensidade nos cafeeiros com menor disponibilidade de radiação do que nas plantas com radiação plena, uma vez que, nestas últimas, chega maior quantidade de radiação na parte inferior da copa. Isso é evidenciado pelo valor negativo do coeficiente angular das equações de regressão, que relaciona a altura inicial da copa com a porcentagem de irradiância, conforme mostram a Figura 6 e a Tabela 2. Verifica-se, também, que o coeficiente angular dessas regressões aumenta com as sucessivas épocas de avaliações (Tabela 2), indicando que o efeito descrito do sombreamento na altura inicial da copa acumula-se e amplifica-se com a idade dos cafeeiros. Como pode ser observado na Figura 6, os valores variaram de 18,50 a 21,33 cm e 24,21 a 29,89 cm, na primeira e na última avaliação, respectivamente.

### **- Diâmetro da copa**

O diâmetro da copa do cafeeiro não foi afetado significativamente ( $p>0,05$ ) pela disponibilidade de radiação solar, em todas as épocas de avaliação. A média do diâmetro da copa, na primeira e última avaliação, foi, respectivamente, de 32,95 e 144,53 cm. Salgado (2004) e Morais (2003) também encontraram resultados semelhantes. No entanto, Carelli; Fahl e Alfonsi (2002), trabalhando o mesmo cultivar utilizado no experimento, verificaram diâmetro da copa menor a pleno sol. Apesar do diâmetro da copa ser igual em todos os tratamentos, observou-se nos cafeeiros com maior disponibilidade de radiação, um maior número de nós nos ramos plagiotrópicos primários e um maior comprimento dos internódios desses ramos. Isso evidência uma maior alongação dos ramos plagiotrópicos nos cafeeiros sob maior sombreamento, o que posteriormente será discutido com mais detalhes.

### **- Área foliar total**

O sombreamento afetou significativamente ( $p<0,01$ ) a área foliar do cafeeiro, em todas as épocas estudadas (Figuras 6 e 7). Esse efeito foi menos intenso na primeira avaliação do que na última, quando a área foliar dos cafeeiros a pleno sol foi, respectivamente, 54 e 153% maior do que nas plantas com menor intensidade de irradiância (25%), o que demonstra um efeito acumulado e ampliado com a idade das plantas. O aumento da área foliar específica (AFE) com a redução da irradiância disponível, conforme será discutido posteriormente, não foi suficiente para equiparar a área foliar total dos cafeeiros sob maior disponibilidade de radiação. De outro modo, alguns trabalhos, como os de Campanha et al. (2004) e Rodriguez et al. (1999), verificaram maior queda de folhas em cafeeiros a pleno sol do que nos sombreados. Estes últimos ainda apresentaram um decréscimo linear da área foliar, com o aumento de irradiância.

Mesmo nas avaliações que ocorreram em setembro de 2002 e 2003 (época 1 e 3), que é um período de desfolha da planta, principalmente em cafeeiros sob maior luminosidade, a área foliar por planta foi maior nos tratamentos com alta irradiância. No entanto, após a planta ter iniciado seu ciclo reprodutivo, se observou visualmente no campo, após cada colheita, uma grande queda de folhas nos cafeeiros sob maior



disponibilidade de irradiância. Este evento provavelmente foi provocado pela competição por fotoassimilados entre os frutos e as folhas, uma vez que a carga produtiva dessas plantas foi bastante alta. Contudo, nenhuma avaliação de área foliar foi efetuada após essas colheitas, uma vez que, após a safra de 2004, as plantas já se encontravam muito desenvolvidas, sendo dificultada a coleta desses dados e, após a safra de 2005, as avaliações referentes ao crescimento vegetativo do cafeeiro já haviam sido encerradas.

Para Rodriguez et al. (1999), a abscisão foliar está sempre associada ao nível de exposição solar e aos períodos de déficit hídrico, como uma forma de manter o status hídrico da planta. As altas temperaturas, observadas quando os cafeeiros são cultivados a pleno sol, provocam diminuição nos níveis de carboidratos das folhas e influenciam na duração de folhas do cafeeiro. E, devido os frutos demandarem grande quantidade de carboidratos, esses efeitos se fazem mais evidentes durante as fases de frutificação e floração.

A irrigação a que os cafeeiros foram submetidos, durante o período do experimento, pode ter reduzido o estresse hídrico da planta. Provavelmente, sem irrigação, os cafeeiros nas condições mais iluminadas teriam sofrido estresse hídrico nos períodos mais secos, promovendo uma maior abscisão foliar e reduzindo sua área foliar total, principalmente nas épocas de avaliação das plantas, que ocorreram logo após o período seco (épocas 1 e 3 - setembro). No entanto, acredita-se que, dificilmente, os cafeeiros mais sombreados teriam uma área foliar total maior do que as plantas a pleno sol; provavelmente ocorreria apenas uma redução da amplitude entre os valores de área foliar total dos tratamentos mais extremos.

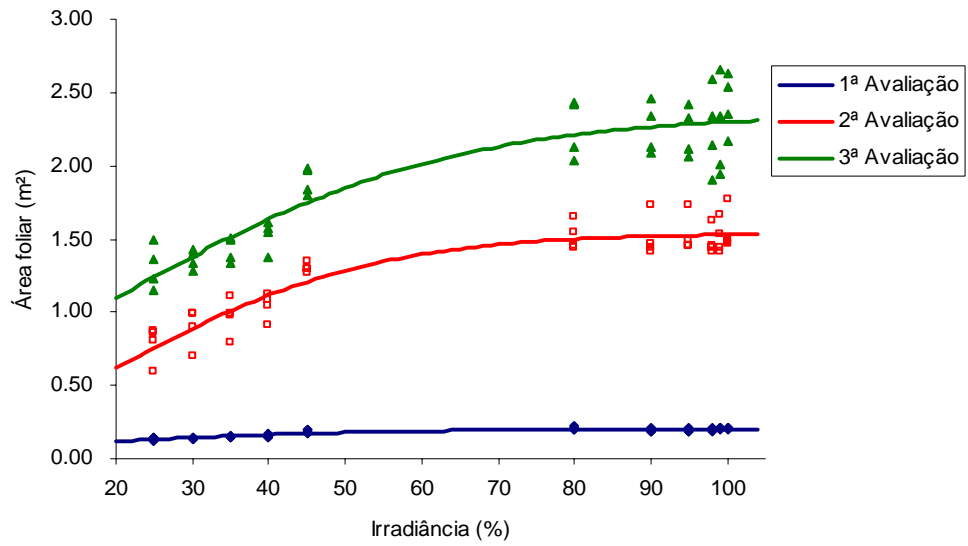


Figura 6 - Área foliar do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação (1ª, 2ª e 3ª), em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

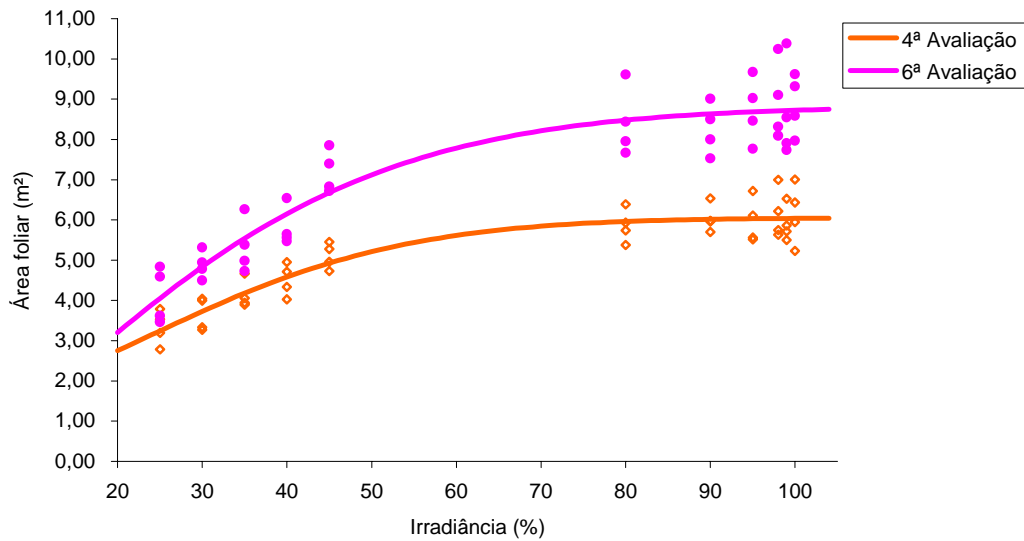


Figura 7 - Área foliar do cafeeiro, em diferentes épocas de avaliação (4ª e 6ª), em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Tabela 3 - Equações de regressão entre a variável independente, irradiância disponível (%) e a variável dependente, área foliar do cafeeiro ( $m^2.planta^{-1}$ ), em 5 épocas de avaliação, em Piracicaba-SP

Avaliação	Equação de regressão <sup>(1)</sup>	r <sup>2</sup>
1 <sup>a</sup>	$y=0.206-0.1429*\exp(-0.009497*x^{1.3207})$	0.8288
2 <sup>a</sup>	$y=1.5363-1.3276*\exp(-0.002702*x^{1.6417})$	0.8656
3 <sup>a</sup>	$y=2.346-1.6683*\exp(-0.002749*x^{1.5561})$	0.8307
4 <sup>a</sup>	$y=6.0501-4.5827*\exp(-0.00153*x^{1.7924})$	0.8506
6 <sup>a</sup>	$y=8.8238-8.6009*\exp(-0.005374*x^{1.4591})$	0.8567

<sup>(1)</sup> Modelo de Weibull

r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

### 2.3.1.2 Avaliações destrutivas das plantas

#### - Massa seca da parte aérea

Houve efeito significativo ( $p<0,01$ ) da disponibilidade de radiação solar na massa seca da parte aérea do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio. Essa cresceu consideravelmente com o aumento da luminosidade, até um nível de aproximadamente 50%; apresentado a partir daí um menor aumento. A 70% de radiação, a massa seca foi equivalente a 95% da obtida a pleno sol. A biomassa aérea, estimada pela curva de regressão, variou de 505,44 a 2115,59  $g.planta^{-1}$ . Portanto, sob menor disponibilidade de irradiância, a biomassa aérea representou 24% da obtida no tratamento a pleno sol (Figura 8).

Essa grande diferença de massa seca, produzida entre cafeeiros sob baixa e alta irradiância disponível, deve-se à menor taxa de assimilação líquida das plantas com intenso sombreamento, devido, provavelmente, a um grande número de folhas próximas ao ponto de compensação de luz, uma vez que a quantidade de radiação que chega a essas plantas é bastante baixa, principalmente na porção mais inferior da copa.

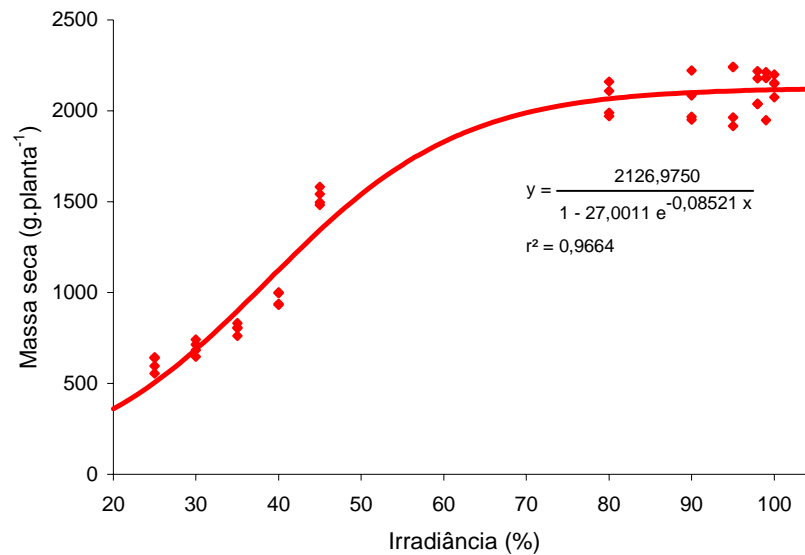


Figura 8 - Massa seca total da parte aérea do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

As modificações morfofisiológicas ocorridas em função da redução da disponibilidade de radiação, como aumento da área foliar individual, do AFE e da RAF, não foram suficientes para impedir um decréscimo na taxa de assimilação líquida das plantas mais sombreadas, de forma a garantir uma produção de massa seca aérea similar às plantas a pleno sol. No entanto, a aproximadamente 70% de irradiância, a matéria seca correspondeu a 95% da obtida no tratamento a pleno sol. A TCA e a TAL apresentaram níveis similares de radiação, em torno de 70%, para a obtenção de 95% dos valores alcançados a pleno sol.

O acúmulo de massa seca aumentou com a irradiância, em todos os componentes da parte aérea da planta. A massa seca dos frutos, das folhas, dos ramos e do caule variou, respectivamente, de 88,31 a 581,07, 185,05 a 714,35, 162,36 a 471,28 e 172,73 a 377,95 g.planta<sup>-1</sup>. Portanto, sob menor disponibilidade de radiação (25%), a biomassa dos frutos, das folhas, dos ramos e do caule correspondeu, respectivamente, 15, 26, 34 e 46% da biomassa obtida no tratamento a pleno sol.

Conforme pode ser observado na Figura 9, houve alocação diferenciada de recursos para o acúmulo de biomassa dos diferentes componentes da planta, em função da radiação solar disponível. Com o aumento de irradiância, ocorreu um

aumento na proporção de massa seca dos frutos e das folhas, em relação à biomassa total da parte aérea, variando, respectivamente, de 14 a 28% e de 30 a 34%. Por outro lado, a proporção de ramos e do caule diminuiu, variando, respectivamente, de 22 a 27% e de 17 a 29%. Nota-se que o acréscimo na proporção de folhas e o decréscimo na proporção de ramos foram bastante moderados, enquanto, nos demais componentes, foi mais acentuado. A partir de 80% de radiação solar, os cafeeiros tiveram um comportamento semelhante, na proporção de massa seca dos diversos componentes da parte aérea.

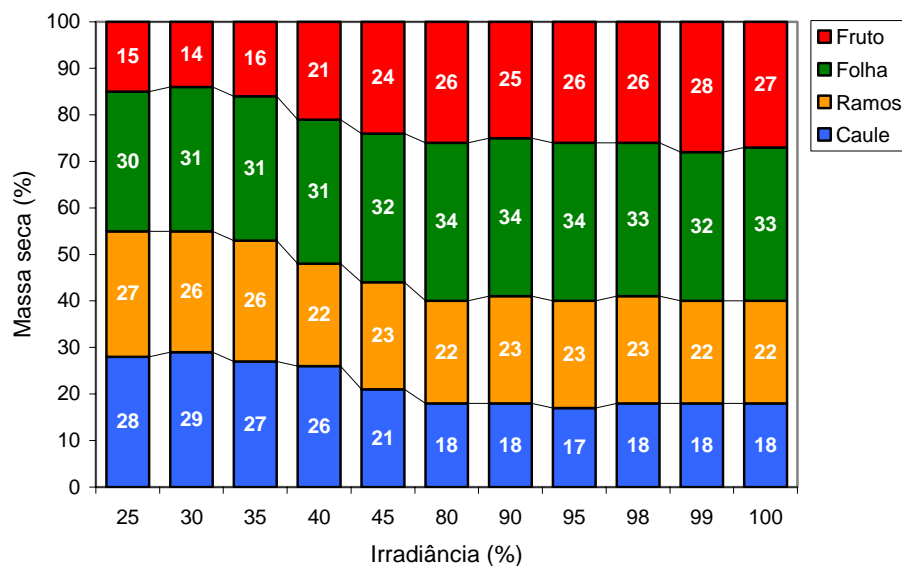


Figura 9 - Proporção de massa seca dos diferentes componentes da parte aérea do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Nos tratamentos sob menor disponibilidade de radiação, as folhas, o caule e os ramos apresentaram proporções semelhantes de massa seca, em torno de 30%, enquanto os frutos representaram aproximadamente 15%, representando quase metade da proporção de frutos apresentada no tratamento a pleno sol. O acúmulo de biomassa nas folhas, no caule e nos ramos, em detrimento da parte reprodutiva, nos cafeeiros sob menor disponibilidade de radiação, é, possivelmente, um mecanismo de alocação de energia para o crescimento de estruturas da planta, que otimiza a captura de energia solar nessas condições, como forma de garantir a sobrevivência da mesma.

A maior alocação de biomassa para os frutos, à medida que aumenta a intensidade de irradiância disponível aos cafeeiros, fornece um índice de colheita maior às plantas mais iluminadas, no momento da avaliação. No entanto, essa situação pode ter se modificado até o momento da colheita, uma vez que as plantas foram avaliadas no mês de fevereiro, período em que os frutos se encontravam em plena granação. Nessa época, as plantas mais sombreadas poderiam estar em um estágio fenológico reprodutivo mais atrasado do que as plantas sob maior radiação, já que a redução da disponibilidade de radiação prolonga o período reprodutivo da planta.

Cortez (1997) verificou que o intervalo entre a florada e a maturação do fruto era alterado, aumentando à medida que os plantios se localizavam em altitude mais elevada, no estado de Minas Gerais. Ciclos mais longos foram encontrados em locais de plantio de menor radiação solar e de menor temperatura ambiente, durante a fase de desenvolvimento do fruto.

#### **- Número de ramos plagiotrópicos primários, secundários e terciários**

Observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da irradiância na produção de ramos plagiotrópicos primários, secundários e terciários, que cresceu com o aumento da disponibilidade de radiação (Figura 10).

Esse efeito foi mais pronunciado no número de ramos secundários, que passaram de 7 ramos, no tratamento mais sombreado (25% de radiação), a 228 ramos, no tratamento a pleno sol. Ressalta-se que não houve grande diferença na produção desses ramos entre os tratamentos mais sombreados (25 a 45% de radiação), assim como nos tratamentos com maior disponibilidade de radiação (80 a 100% de radiação), sendo observado porém, um grande acréscimo entre 45 e 80% de irradiância.

A produção de ramos terciários só ocorreu a partir de 45% de radiação, com apenas 2 ramos por planta. Ela se mostrou mais estável a partir de 80%, com 25 ramos, atingindo a produção máxima a pleno sol, com 31 ramos por planta.

O número de ramos primários foi o que teve menor crescimento proporcional. Sob sombreamento mais intenso, representou 67% da quantidade obtida a pleno sol, que foi de 70 ramos.

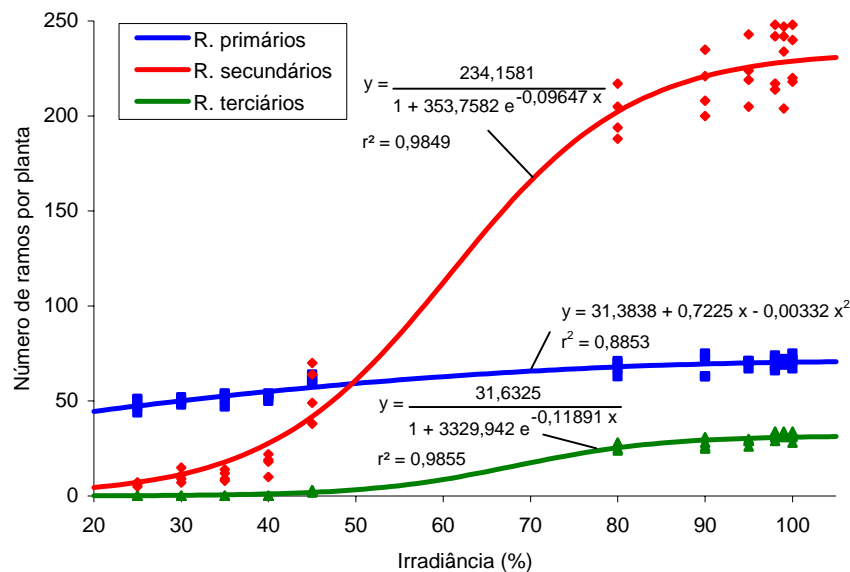


Figura 10 - Número de ramos plagiotrópicos primários, secundários e terciários do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Morais (2003) não observou diferença significativa no número de ramos por planta, em cafeeiros sob sombreamento de gandu e a pleno sol; no entanto, estes últimos apresentaram um percentual maior de ramos com frutos, sendo aproximadamente o dobro do obtido nos cafeeiros sombreados. Rodriguez et al. (2001) em Cuba, igualmente não verificaram efeito de diferentes níveis de radiação (70, 85 e 100%) no número de pares de ramos do cafeeiro.

O aumento do número de ramos plagiotrópicos pode ser considerado como um aumento do potencial produtivo do cafeeiro, uma vez que ocorrerá um acréscimo no número de nós, local onde se originam as gemas laterais com capacidade produtiva. Contudo, o lançamento excessivo de ramificações secundárias e terciárias pode prejudicar a safra seguinte, pois pode estar ocorrendo uma grande diferenciação de gemas vegetativas em detrimento das reprodutivas.

#### - Número de nós e comprimento dos internódios dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos primários

O número de nós, bem como o comprimento dos internódios dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos primários, aos 38 meses após o plantio, foram afetados

significativamente ( $p < 0,01$ ) pela disponibilidade de radiação aos cafeeiros (Figuras 11 e 12). O número de nós, tanto do ramo ortotrópico como dos plagiotrópicos, aumentou com a irradiância. A quantidade média de nós dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos variou, respectivamente, de 27,76 a 37,48 e 10,17 a 15,92, representando um aumento de 35 e 57% (Figura 11). Os tamanhos médios dos internódios de ambos os ramos tiveram comportamento oposto, reduzindo com o aumento da irradiância disponível aos cafeeiros. Estes variaram de 3,12 a 4,11 cm e 2,88 a 4,33 cm, para os ramos ortotrópico e plagiotrópicos, respectivamente (Figura 12). Verifica-se que o decréscimo no comprimento do ramo ortotrópico foi menor que o dos ramos plagiotrópicos, sendo de 24% no primeiro e 34% neste último.

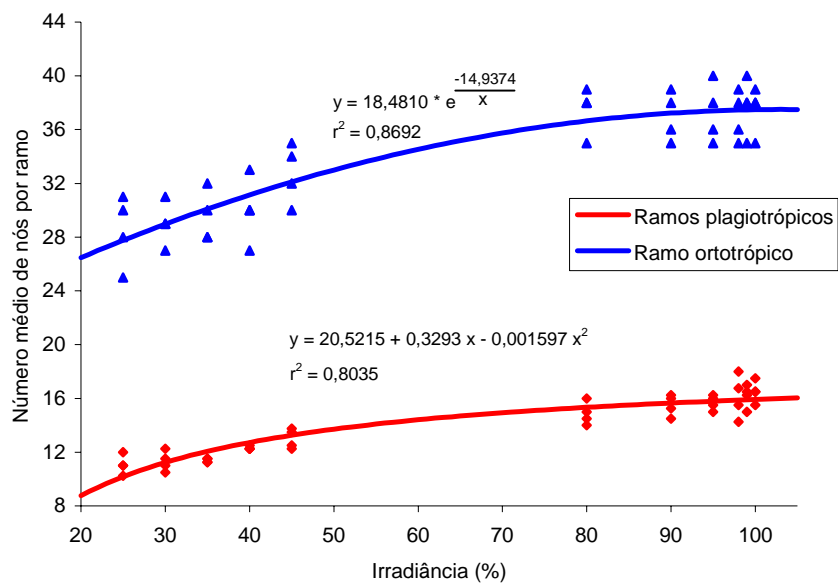


Figura 11 - Número médio de nós dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP



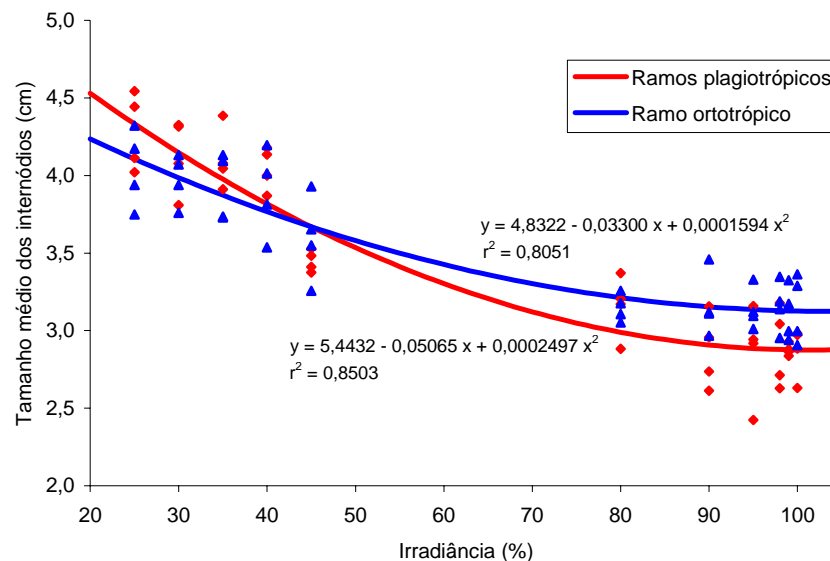


Figura 12 - Tamanho médio dos internódios dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Campanha et al. (2004) também observaram aumento no número de nós e redução no comprimento dos internódios dos ramos plagiotrópicos, nos cafeeiros em monocultivo, em relação às plantas do SAF. Morais (2003) e Castillo e Lopez (1966), do mesmo modo, constataram que o número de nós por ramo, além do número de nós produtivos, aumentaram significativamente nos cafeeiros com maior disponibilidade de irradiância.

Segundo Castro; Kluge e Peres (2005), em plantas jovens sombreadas, a fotomorfogênese também altera o crescimento de maneira bastante visível, em função da modificação da qualidade da luz. A radiação após passar pela copa, sendo relativamente mais rica em vermelho extremo do que em vermelho, promove uma grande queda no teor de Fve. Dessa forma, as plantas têm seus caules alongados e se ramificam menos, utilizando prioritariamente sua energia para elevar o caule do que para crescer horizontalmente. O preço pago pela planta por favorecer o alongamento dos entrenós, através de um gasto extra de reservas, costuma ser redução da área foliar, do sistema radicular e das ramificações laterais, devido a uma inibição do desenvolvimento das gemas laterais (TAIZ; ZEIGER, 2004; MAJEROWICZ; PERES, 2004).

Um dos mais importantes componentes da produção é o número de nós formados, assim como o número de frutos presentes em cada nó, que são diretamente afetados pela intensidade de radiação solar e influenciam diretamente a produção (CANNELL, 1976). Portanto o decréscimo na quantidade de nós por ramo, observado com o aumento do sombreamento, provavelmente tenha sido um dos fatores, entre outros, que influenciou a baixa produtividade dos cafeeiros nos tratamentos sob menor disponibilidade de radiação.

### - Área foliar individual

A área foliar individual, dada pela superfície de uma folha, aos 38 meses após o plantio, foi afetada significativamente ( $p < 0,01$ ) pela disponibilidade de radiação solar. Ela foi inversamente proporcional à irradiância disponível (Figura 13). Tais resultados estão de acordo com os reportados por Voltan; Fahl e Carelli (1992); Fahl et al. (1994); Carelli; Fahl e Alfonsi (2002) e Morais et al. (2003), que também observaram aumento da área foliar individual com a redução da luminosidade.

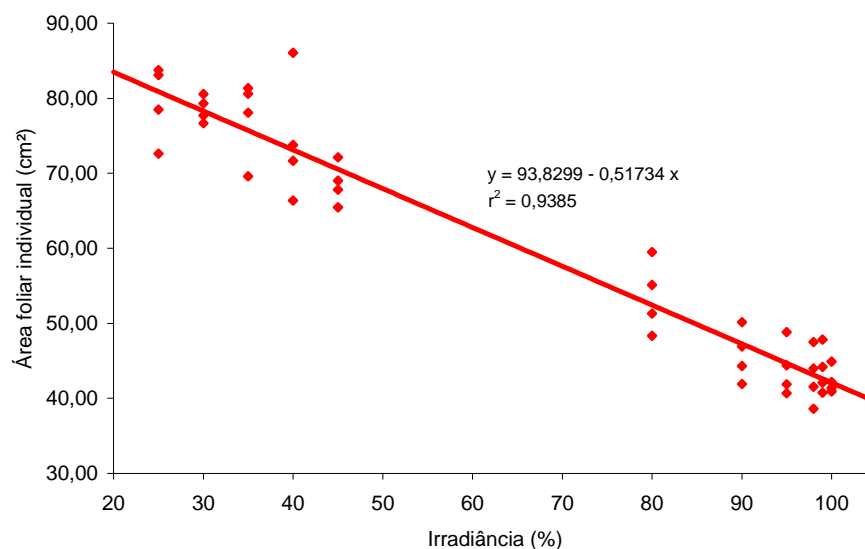


Figura 13 - Área foliar individual do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

O tamanho médio da folha variou de 42,1 a 80,9 cm<sup>2</sup> (Figuras 13 e 14). Carelli; Fahl e Alfonsi (2002) igualmente verificaram, para esse mesmo cultivar, área foliar

individual crescente com a redução da radiação. Com 100, 70, 50 e 30% de radiação, observaram valores de área foliar individual de 35,8, 53,7, 57,6 e 76,4 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Contudo, os tratamentos com sombreamento intermediário (50 e 70% de radiação) não diferiram estatisticamente. O aumento da folha é uma estratégia utilizada pelas plantas para maior captura de luz.

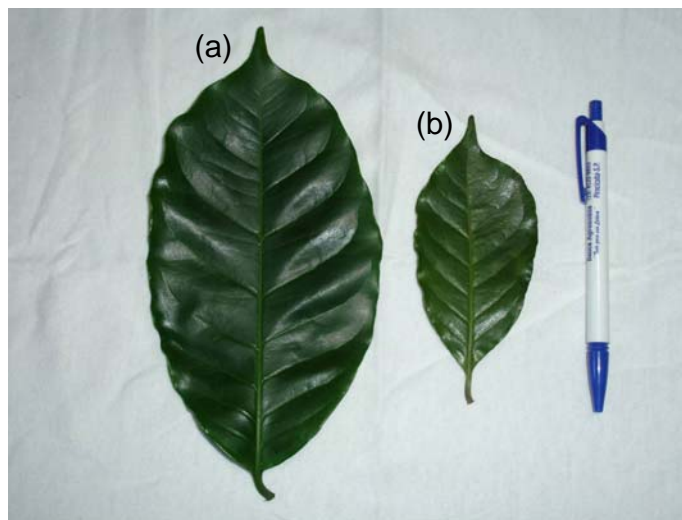


Figura 14 - Comparação entre folhas de cafeeiros, aos 38 meses após o plantio, sob 25% de irradiância (a) e a pleno sol (b), em Piracicaba-SP

### 2.3.1.3 Índices de crescimento e morfológicos calculados

#### - Taxa de assimilação líquida (TAL)

A disponibilidade de radiação solar afetou significativamente a taxa de assimilação líquida do cafeeiro ( $p < 0,01$ ), no período de 8 a 38 meses após o plantio, que aumentou com o incremento de irradiância. Esta variou, respectivamente, de 17,99 a 30,93 g.m<sup>-2</sup>.mês<sup>-1</sup>, entre o tratamento mais sombreado e a pleno sol, representando um aumento de 72%. Ressalta-se que a TAL cresceu de forma considerável até aproximadamente 45% de radiação; a partir desse ponto, seu aumento tornou-se menor. Esse fato indica que a fotossíntese foi grandemente limitada abaixo desse nível de irradiância. Com aproximadamente 70% de luminosidade, a TAL correspondeu a 95% do valor obtido no tratamento a pleno sol, sugerindo que, a partir desse nível de radiação, esta foi pouco limitante à fotossíntese (Figura 15).

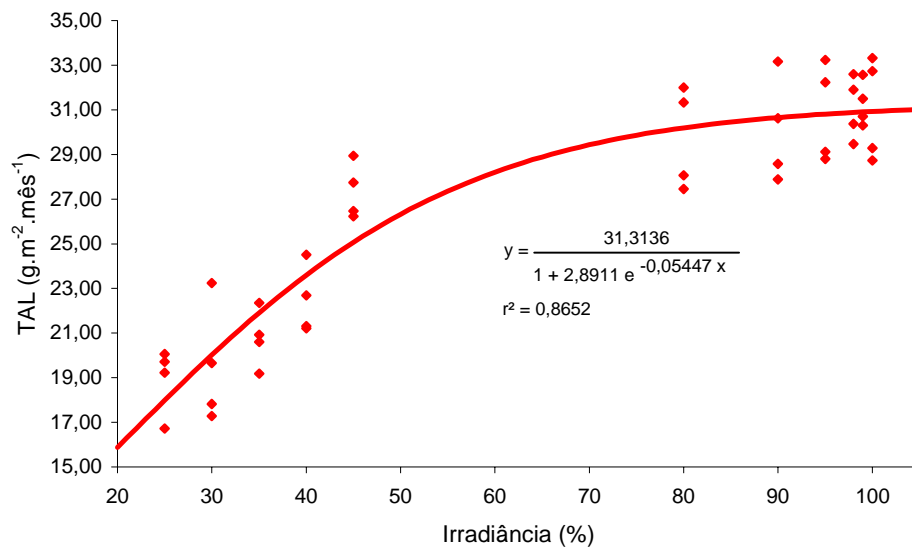


Figura 15 - Taxa de assimilação líquida do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Uma vez que a taxa de assimilação líquida é um componente fisiológico que mede quanto de matéria seca é produzido por unidade de área foliar, verifica-se que as plantas com maior irradiância tiveram uma eficiência fotossintética maior do que as plantas mais sombreadas. De acordo com DaMatta e Rena (2002), em cafeeiros sombreados, a folhagem externa encontra-se em condições ideais para a fotossíntese; contudo, devido ao auto-sombreamento da planta, um grande número de folhas no interior da copa recebe radiação fotossinteticamente ativa abaixo do necessário para saturar o aparelho fotossintético. De modo oposto, a pleno sol, a irradiância, a temperatura e a demanda evaporativa da atmosfera elevadas poderiam acarretar a redução das taxas de fotossíntese na folhagem mais exposta; contudo, as condições microclimáticas mais favoráveis no interior da copa podem acarretar maior fotossíntese das folhas internas, compensando, potencialmente a menor atividade fotossintética das folhas mais externas.

De acordo com os resultados obtidos de TAL, supõe-se que, sob sombreamento moderado (até 30%), a radiação fotossinteticamente ativa que chega ao interior da copa foi suficiente para manter altas taxas fotossintéticas, explicando o comportamento similar dessa variável ao das plantas a pleno sol.

### - Razão de área foliar (RAF)

A razão de área foliar do cafeeiro foi afetada significativamente ( $p < 0,01$ ) pela disponibilidade de radiação solar, no período de 8 a 38 meses após o plantio. De modo oposto à TAL, a RAF decresceu com o aumento de irradiância. Seus valores variaram de  $0,0041 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , no tratamento a pleno sol, a  $0,0060 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , no tratamento mais sombreado (25% de irradiância), representando um decréscimo de 32%. A redução nos valores de RAF é mais pronunciada nos tratamentos sob sombreamento mais intenso, sendo, a partir de aproximadamente 85% de irradiância, a queda da RAF é mínima (Figura 16).

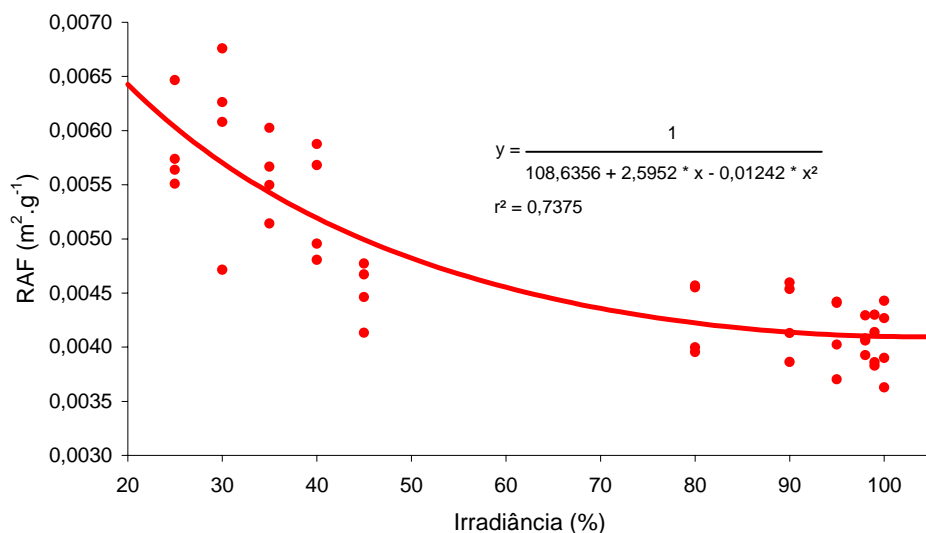


Figura 16 - Razão de área foliar do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Por ser a RAF um componente morfofisiológico da planta, sua redução, com o aumento da intensidade de radiação solar, demonstra um mecanismo de adaptação da planta à disponibilidade de radiação solar. Desse modo, plantas com sombreamento mais intenso tendem a possuir maior RAF, pois necessitam de maior área foliar para uma maior interceptação de radiação.

### - Área foliar específica (AFE)

Houve uma redução significativa ( $p < 0,01$ ) da área foliar específica do cafeeiro, com o aumento da disponibilidade de radiação solar, que variou de 0,0124 a 0,0198  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , representando um decréscimo de 37%. A redução nos valores de AFE é mais pronunciada nos tratamentos sob sombreamento mais intenso, sendo, a partir de aproximadamente 80% de irradiância, a diminuição da AFE é mínima (Figura 17).

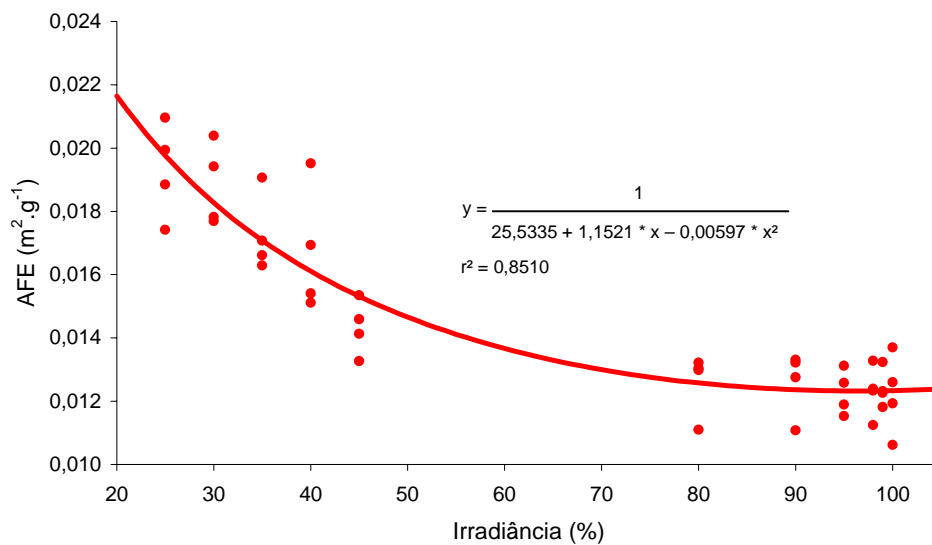


Figura 17 - Área foliar específica do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Os resultados observados para a AFE demonstram a ampla plasticidade fenotípica do cafeeiro para se adaptar a uma amplitude de regimes luminosos, conforme já demonstrado por alguns autores: Carvajal (1984); Fahl et al. (1994); Voltan; Fahl e Carelli (1992); Carelli et al. (1999); Righi et al. (2002); Morais et al. (2003) e Righi (2005), que observaram menor área foliar específica ou maior massa foliar específica, em vários cultivares de cafeeiro, com o aumento da irradiância disponível. De modo oposto, Carelli; Fahl e Alfonsi (2002) não constataram efeito significativo do nível de sombreamento na massa foliar específica no cultivar Obatã, apesar de terem verificado folhas de maior tamanho com o aumento do sombreamento.

O aumento do AFE nas plantas, à medida que se reduz a radiação solar disponível, proporciona maior interceptação de radiação, visto que as folhas são mais finas e maiores. De modo oposto, sua redução nas plantas sob maior irradiância, promove uma maior proteção das plantas do excesso de radiação, devido à maior espessura das folhas. Isso denota o auto-ajustamento das plantas em função da irradiância disponível.

Segundo Larcher (2000) e Taiz e Zeiger (2004), as plantas, em geral, apresentam capacidade de adaptações durante seu desenvolvimento, em função da quantidade e da qualidade de radiação local dominante e, entre essas alterações, estão mudanças na anatomia foliar. A adaptação da planta conduz a uma otimização do trabalho, sob ajustes que não buscam a mais alta capacidade, mas, sim, a melhor relação entre ganhos e riscos.

Voltan; Fahl e Carelli (1992), avaliando o efeito de diferentes níveis de sombreamento artificial sobre a anatomia foliar do cafeeiro, observaram, em condições de alta intensidade luminosa, um espessamento foliar que resultou em um aumento da massa foliar específica, promovido principalmente pela expansão das células do mesófilo. Segundo Medri e Perez (1980), as folhas de sol são mais rústicas, devido a uma forte compactação mesofílica, com abundante parênquima paliçádico em relação ao lacunoso, muitos tecidos mecânicos, como colênquima e esclerênquima, bem como grande espessamento cuticular.

Folhas de cafeeiro sob sombreamento de guandu apresentaram menor espessura das células da cutícula e parede celular, mesófilos com menores volumes, porém com maiores espaços intercelulares e epidermes com células mais espessas e menor número de estômatos e redução da massa foliar específica (MORAIS et al., 2003; MORAIS et al., 2004).

#### **- Índice de Área Foliar (IAF)**

Houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da disponibilidade radiação solar no índice de área foliar dos cafeeiros, aos 38 meses após o plantio, que cresceu com o aumento da irradiância (Figura 18). Este variou, respectivamente, de 2,17 a 5,26, entre o tratamento sob menor irradiância disponível e a pleno sol, representando um aumento de 142%.

Os valores de IAF cresceram acentuadamente até aproximadamente 45% de irradiância; a partir desse ponto, seu aumento tornou-se menor. Em torno de 72% de radiação, o IAF correspondeu a 95% do valor obtido no tratamento a pleno sol.

Como o IAF foi calculado com base na área de projeção da copa dos cafeeiros, seu acréscimo, nos tratamentos com maior disponibilidade de radiação, ocorreu em função do aumento de área foliar nesses tratamentos, já que o diâmetro da copa foi similar em todos os tratamentos.

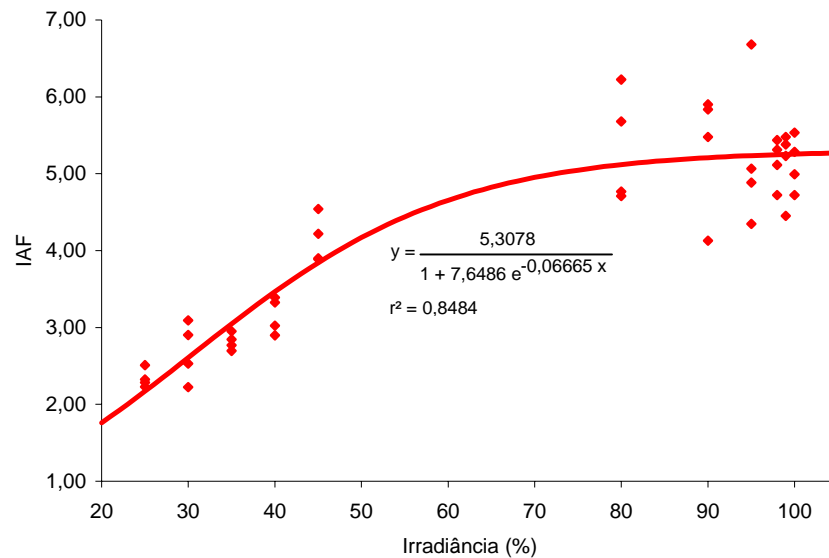


Figura 18 - Índice de área foliar do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

### - Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A taxa de crescimento absoluto da massa seca da parte aérea do cafeeiro, ao longo do período de avaliação do experimento, que foi de 30 meses (entre 8 e 38 meses após o plantio), foi afetada significativamente ( $p < 0,01$ ) pela irradiância disponível. Ela variou de 16,52 a 69,59  $\text{g.mês}^{-1}$ , apresentando valores acentuadamente crescentes com o aumento da luminosidade, até um nível de aproximadamente 50% de radiação disponível, quando, então, seu aumento tornou-se menor (Figura 19). Desse modo, sob menor disponibilidade de irradiância, a TCA representou 24% da obtida no



tratamento a pleno sol e, a aproximadamente 70% de irradiância, correspondeu a 95% da TCA obtida no tratamento a pleno sol.

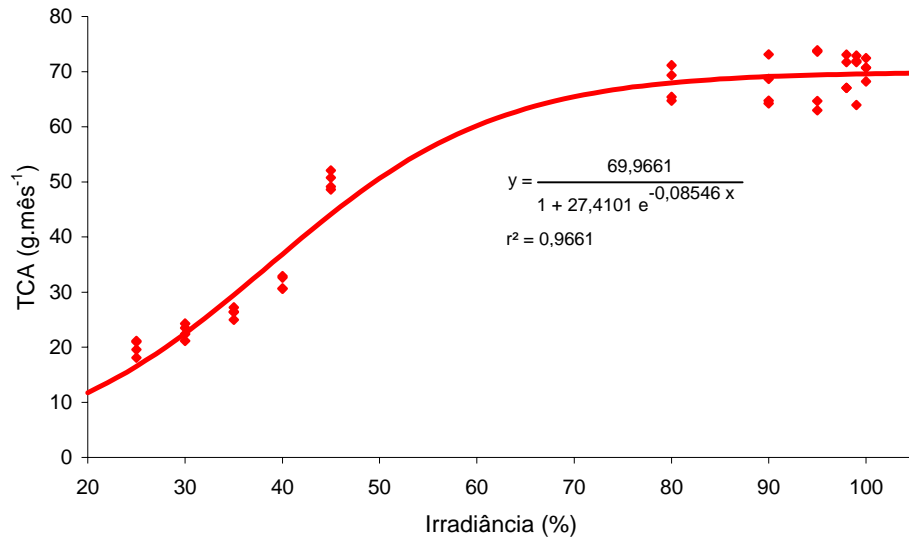


Figura 19 - Taxa de crescimento absoluto da massa seca da parte aérea do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

### - Taxa de crescimento relativo (TCR)

O efeito da disponibilidade de irradiância na taxa de crescimento relativo da massa seca aérea dos cafeeiros foi significativo ( $p < 0,01$ ). A TCR foi positiva em todos os tratamentos estudados. Similarmente à TCA, a TCR aumentou com a irradiância, apresentando valores notadamente crescentes até um nível de aproximadamente 45% de radiação, a partir do qual seu aumento se tornou menor (Figura 20). Os valores médios obtidos da TCR, no período de 30 meses, variaram de 0,1333 a 0,1448 g.g<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>.

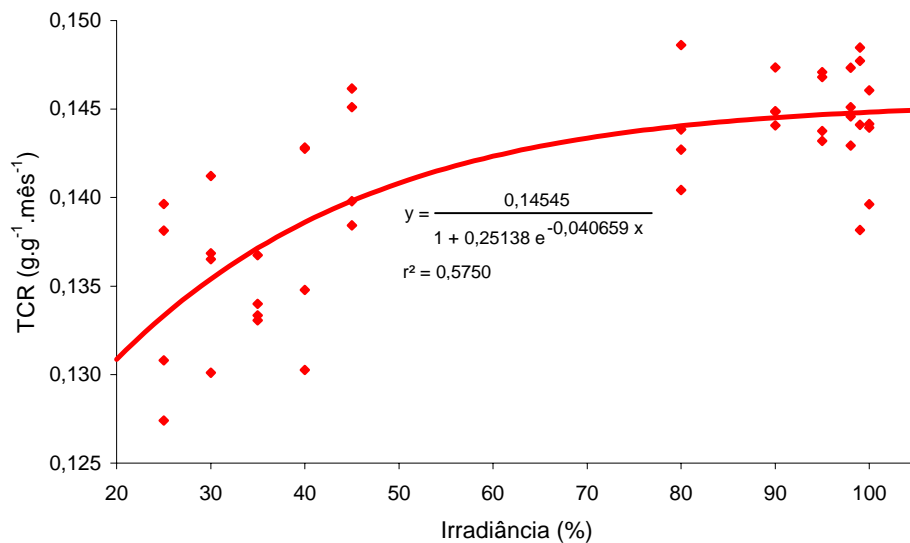


Figura 20 - Taxa de crescimento relativo da massa seca da parte aérea do cafeeiro, entre 8 e 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Como a TCR é dependente da TAL e da RAF, nota-se que a TAL influenciou mais a TCR em sua tendência crescente do que a RAF, pois o crescimento da TAL entre o tratamento mais sombreado e o tratamento a pleno sol foi de 66%, enquanto a RAF decresceu apenas 29%. Ressalta-se que o aumento da TAL, nos tratamentos mais sombreados, foi bem superior ao decréscimo da RAF, enquanto, nos tratamentos com maior irradiância, praticamente não houve diferença entre esses dois parâmetros. Tal comportamento explica o forte aumento da TCR entre os tratamentos mais sombreados e a tendência de estabilização da mesma nos tratamentos com maior disponibilidade de irradiância. A RAF assumiu maior importância para a elevação da TCR nas plantas crescendo sob menor irradiância, já que, neste caso, a TAL foi bastante reduzida.

Observa-se que o cafeeiro teve crescimento reduzido sob condições de baixa disponibilidade de irradiância, apresentando, no entanto, capacidade para manter, em tais condições, taxa de crescimento positiva, provavelmente devido à sua origem de sub-bosque e à capacidade de ajustar sua morfologia para o aumento da captura de luz.

## 2.3.2 Produção do cafeeiro

### 2.3.2.1 Produtividade

Houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da disponibilidade de irradiância na produtividade do cafeeiro, nas duas safras avaliadas. Na primeira safra (ano 2004), a produção de café beneficiado cresceu consideravelmente com o aumento da disponibilidade de radiação solar, até um nível de aproximadamente 50% de radiação; sendo menor seu aumento, a partir desse ponto. Com aproximadamente 60% de luminosidade a produtividade correspondeu a 95% da obtida a pleno sol e estabilizou-se em torno de 70% de irradiância. A safra segunda safra (ano 2005) apresentou comportamento similar, no entanto com ligeiro aumento nos níveis de radiação para a inflexão e a estabilização da curva de produtividade, com valores respectivos de 55 e 75% (Figura 21a e 21b).

A produtividade de café coco e beneficiado, estimada pela curva de regressão, variou, respectivamente, de 0,091 a 1,167 e 0,058 a 0,699  $\text{kg.planta}^{-1}$ , na primeira safra (Figura 21a) e 0,096 a 0,982 e 0,057 a 0,535  $\text{kg.planta}^{-1}$  na segunda safra (Figura 21b).

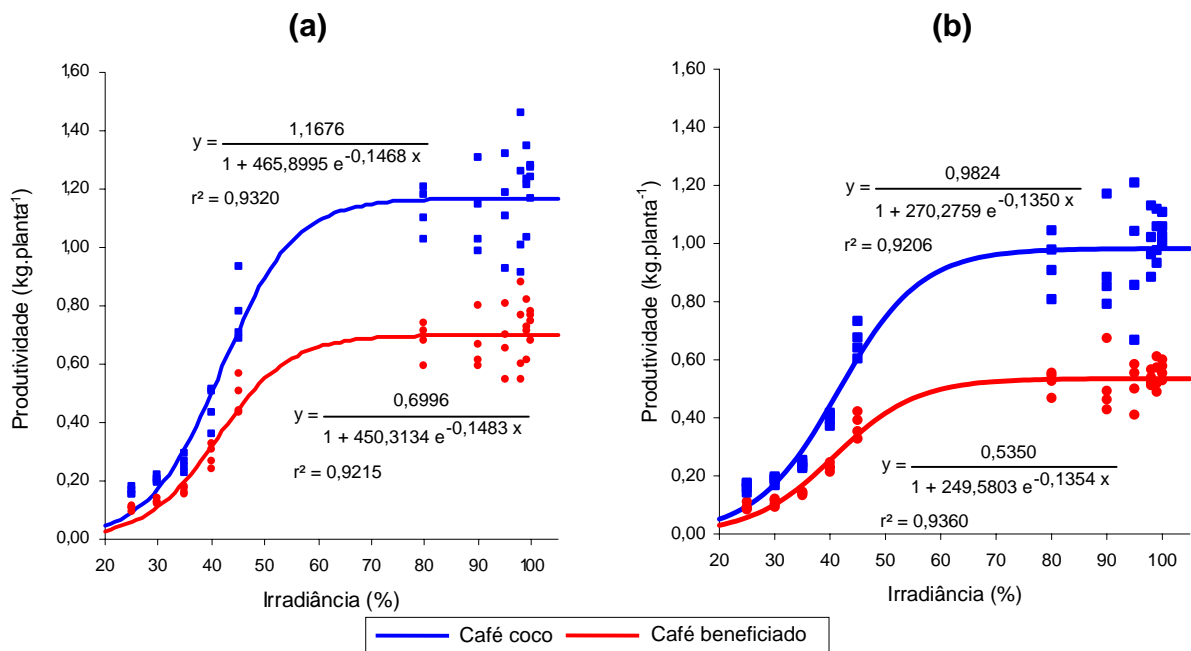


Figura 21 - Produtividade de café coco e beneficiado, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Sob menor disponibilidade de radiação (25%), ou seja, sob maior sombreamento, a produtividade de café beneficiado correspondeu a 8 e 11% da produtividade obtida a pleno sol, na primeira e segunda safras, respectivamente. Dessa forma, a produtividade média dos dois anos, referente ao tratamento de maior sombreamento, correspondeu apenas 9% da obtida a pleno sol (Figura 22).

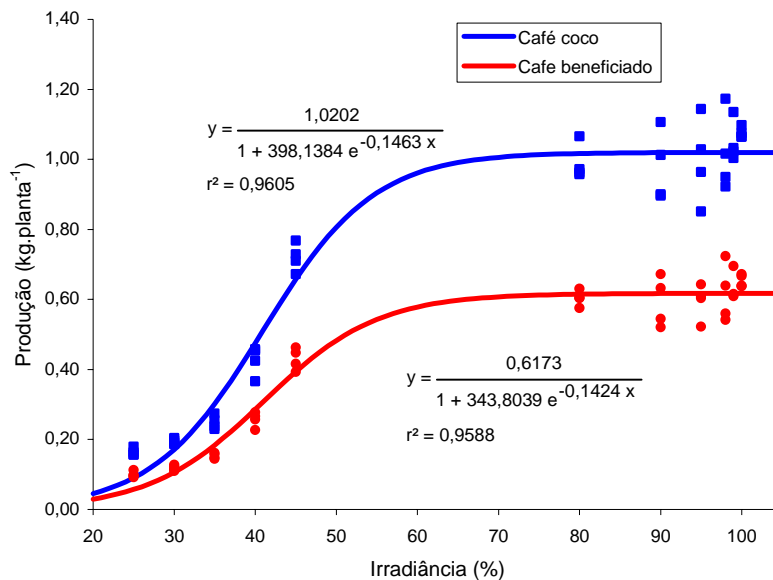


Figura 22 - Produtividade média de café coco e beneficiado de duas safras (2004 e 2005), em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Melo e Guimarães (2000); Moreira (2003) e Salgado (2004) encontraram produtividade semelhante entre cafeeiros sombreados e a pleno sol. No entanto, Carelli; Fahl e Alfonsi (2002); Neves et al. (2002); Rodrigues (2002); Campanha et al. (2004); Vaast et al. (2005) detectaram produtividade maior nos cafeeiros a pleno sol do que nos sombreados., enquanto Matiello et al. (1989) e Marques (2000) observaram maior produtividade em cafeeiros sombreados do que a pleno sol.

Os resultados obtidos estão de acordo com os reportados por Soto-Pinto et al. (2000) e Freitas (2000), para outros cultivares de cafeeiro, que observaram queda na produtividade da cultura sob sombreamento mais intenso e produtividade semelhante em cafeeiros a pleno sol e sob sombreamento moderado. No entanto, diferem, em parte, dos resultados encontrados por Carelli; Fahl e Alfonsi (2002), para esse mesmo

cultivar utilizado nessa pesquisa. Estes autores utilizando sombrites para redução da radiação solar, observaram aumento significativo na produção acumulada de dois anos, com o aumento do nível de irradiância. Mesmo em condições moderadas de sombreamento (70% de radiação solar), a produção dos cafeeiros foi menor do que a pleno sol, fato que não ocorreu no experimento em estudo.

No México, Soto-Pinto et al. (2000) não observaram redução na produtividade de café por planta, até um limite de 50% de sombreamento. Em Patriocínio -MG, Freitas (2000) não verificou diferença significativa na produtividade por planta de cafeeiros a pleno sol e em SAF com seringueira, intercalada com cinco fileiras de cafeeiro. No entanto, a produtividade do cafeeiro decresceu, quando as seringueiras foram intercaladas com três fileiras de cafeeiro. O autor atribuiu essa queda na produção ao excesso de sombreamento nesse sistema, uma vez que a densidade de seringueiras era maior.

É importante destacar que a maioria dos trabalhos não quantifica a irradiância disponível aos cafeeiros, o que dificulta a comparação dos resultados de produção entre os diferentes experimentos.

De acordo com Fahl e Carelli (2004), baseados em experimentos conduzidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, sombreamento moderado com espécies arbóreas, em torno de 30%, favorece os processos fisiológicos, atenua o depauperamento das plantas e não decresce significativamente a produção.

A produção depende de vários fatores, entre eles, a disponibilidade de luz, de água e de nutrientes. Uma vez que os cafeeiros foram irrigados e o solo mantido próximo à capacidade de campo, acredita-se que a água não foi o fator limitante à produção. Luz e nutrientes podem ter sido os fatores limitantes; no entanto, apesar da ausência de monitoramento do estado nutricional dos cafeeiros, nenhum sintoma de deficiência de nutrientes foi observado, o que leva a crer que a baixa disponibilidade de radiação solar tenha sido a principal responsável pela menor produtividade dessas plantas.

Futuros trabalhos isolando alguns fatores de produção, como os desenvolvidos por Righi (2000) com seringueira e feijoeiro; Bernardes et al. (1998a) com seringueira e milho e Bernardes et al. (1998b) com seringueira, soja e milho, poderiam ser de grande

importância para a melhor compreensão das interações acima e abaixo do solo, que influenciam no processo produtivo das culturas envolvidas no sistema.

Ressalta-se que os cafeeiros que apresentaram uma queda maior na produtividade encontravam-se dentro do seringal ou na primeira fileira interfaceando-o, sofrendo uma forte influência da copa da seringueira (Figuras 2 e 3), que bloqueou bastante a irradiância disponível a essas plantas.

O excesso de sombreamento provavelmente alterou a atividade fotossintética e metabólica dessas plantas, bem como a emissão de gemas floríferas. Além disso, comprovadamente reduziu o número de nós por ramo (conforme demonstrado anteriormente na Figura 11). Esses eventos são estes grandemente afetados pela intensidade de radiação solar e influenciam diretamente na produção. Segundo Cannell (1975), o mais importante componente da produção é o número de nós formados, assim como o número de frutos presentes em cada nó.

Castillo e Lopez (1966) observaram que a diferenciação floral no cafeeiro e, conseqüentemente, a formação de frutos apresentou dependência da radiação solar que recebem os nós potencialmente floríferos. Esses autores constataram que a redução da disponibilidade de radiação às plantas promoveu um decréscimo no número de nós por ramo, no número de nós com flores, no número de inflorescências por nó e no número de flores por nó e por inflorescência.

Para Kumar (1978), a menor diferenciação de gemas florais em cafeeiros deve-se ao aumento do nível endógeno de giberelinas, que tem efeito inibidor na formação de gemas florais. O referido autor observou elevadas concentrações desse hormônio em cafeeiros sob alta densidade de plantas, ou seja, sob intenso auto-sombreamento, reduzindo a iniciação floral e a capacidade de produção das plantas. No entanto, a produtividade aumentou em 30-35% com a aplicação de CCC (cloreto 2-cloroetil-trimetilamônio), retardadores do crescimento, que restringe a biossíntese de giberelinas. Conforme Kumar (1982), são exigidos diferentes níveis de ácido giberélico ao longo do processo de desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. A diferenciação das inflorescências é favorecida por uma baixa concentração de giberelinas, enquanto um nível intermediário é necessário para o desenvolvimento de gemas florais e um nível endógeno ainda maior é indispensável para garantir a antese normal das gemas florais.

Campanha et al. (2004), avaliando cafeeiros a pleno sol e em SAF, também observaram menor número de nós produtivos, de botões florais, de retenção de frutos e de produtividade nas plantas sob sombreamento, atribuindo o fato à grande densidade de árvores no sistema, que promoveu uma baixa disponibilidade de radiação aos cafeeiros, influenciando na produção e no armazenamento de carboidratos para formação de nós, a produção e a manutenção de frutos.

### 2.3.2.2 Índice de bienalidade da produção

Houve uma redução significativa ( $p < 0,01$ ) no índice de bienalidade de produção, calculado pela razão entre a produtividade da safra de 2005 e a de 2004, com o aumento da disponibilidade de radiação solar. Os referidos índices foram de 0,91, 0,86, 0,83, 0,80 e 0,79 para os tratamentos com 25, 30, 35, 40, 45% de radiação, respectivamente. Em torno de 65% de radiação houve uma estabilização dos valores desse índice em 0,76 (Figura 23).

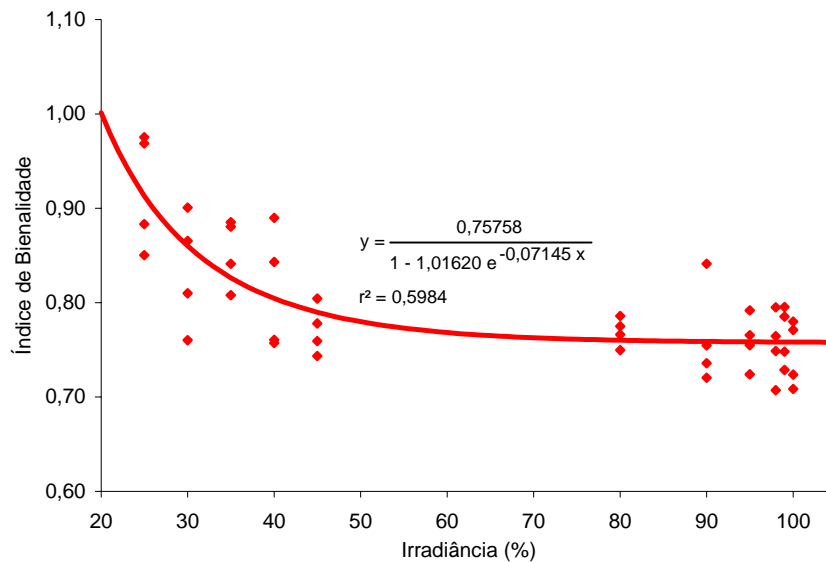


Figura 23 - Índice de bienalidade de produção do cafeeiro, referente às safras 2004 e 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba - SP

Os resultados acima indicam que, nos níveis de sombreamento mais intensos, houve uma redução da bienalidade de produção do cafeeiro; no entanto, sob níveis moderados de sombreamento e a pleno sol, esse efeito não foi verificado. Ressalta-se

que os dados obtidos neste trabalho são referentes apenas a dois anos de produção, sendo necessárias mais safras para uma melhor avaliação do seu comportamento bienal, quando submetida a diferentes níveis de radiação.

Vaast et al. (2005) estudando o efeito do sombreamento e raleamento de frutos na produtividade e na qualidade do café, em região de elevada altitude na Costa Rica, observaram que o sombreamento promoveu uma redução na variação da produção de um ano para outro. No cultivo sombreado, a produção de café da segunda safra foi equivalente a 75% do ano anterior e 80% do ano seguinte. A pleno sol, a diferença de produção foi bastante superior, sendo na segunda safra equivalente a 69% do ano anterior e a 60% do ano seguinte.

A redução dos ciclos bienais de produção do cafeeiro, que reflete numa maior estabilidade de produção, é uma das vantagens promovidas pelo sombreamento da cultura, relatada por alguns autores como Beer (1987); Beer et al. (1998); Muschler (2002) e Fernandes (1986). Conforme Cannell (1985), o cafeeiro produz poucas flores em seu ambiente nativo sombreado e, portanto, não desenvolveu, ao longo de sua evolução, mecanismos para manter sua carga de frutos balanceada com a disponibilidade de carboidratos e minerais. Sob pleno sol a planta produz muitas flores, tendo um grande carregamento de frutos, que constituem dreno preferencial. Essa alocação prioritária de carboidratos para os frutos, em detrimento da parte vegetativa da planta, promove um reduzido crescimento dos ramos, diminuindo a produção da planta no ano seguinte, uma vez que o cafeeiro leva dois anos para completar seu ciclo fenológico de produção.

### **2.3.2.3 Rendimento da produção**

O rendimento, fornecido pela relação entre café beneficiado e em coco, foi significativo ( $P < 0,01$ ) apenas na safra de 2004. Houve uma redução linear do rendimento com o aumento da disponibilidade de irradiância, que variou de 59 a 64% (Figura 24). Na safra seguinte o rendimento médio foi de 56%. O maior rendimento na primeira safra, nos tratamentos com menor disponibilidade de irradiância, provavelmente deveu-se a melhor formação dos frutos, em função das melhores condições microclimáticas nesses ambientes, que originou grãos maiores e com menor



quantidade de defeitos. No entanto, não se sabe por que tal comportamento não se repetiu na segunda safra.

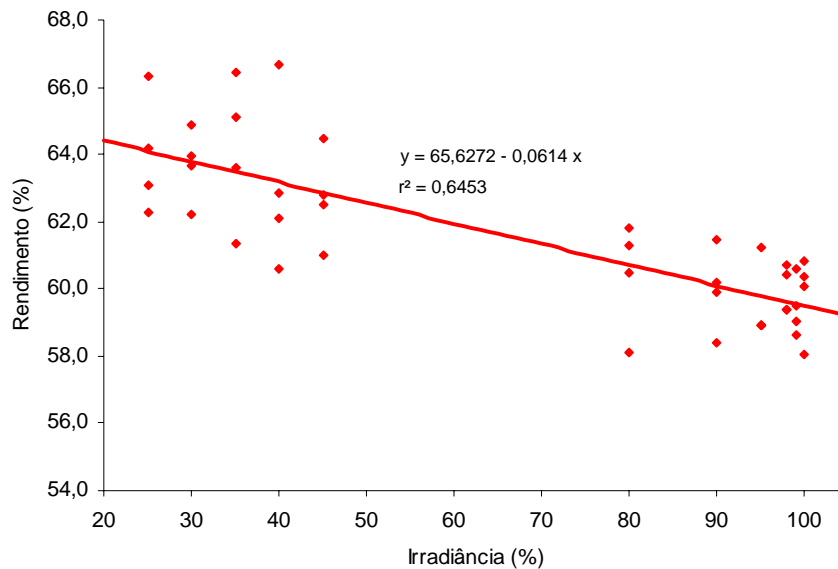


Figura 24 - Rendimento do café da safra 2004, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

### 2.3.3 Qualidade do café

#### 2.3.3.1 Maturação dos frutos

Observou-se maior uniformidade de maturação dos frutos, à medida que diminuiu a radiação solar disponível aos cafeeiros (Figuras 25a e 25b). Jaramillo-Botero et al. (2004) também verificaram, sob maior índice de sombreamento, maior uniformidade de maturação dos frutos em plantas de Catuaí Vermelho.

O estágio de maturação dos frutos, no momento da colheita, foi diferente nas duas safras. No primeiro ano, as plantas expostas a um maior sombreamento apresentaram estágio de maturação mais adiantado. Comportamento oposto ocorreu na safra seguinte.

Na figura 25a, dados relativos ao primeiro ano, pode-se observar que, nos cafeeiros com 98, 99 e 100% de radiação disponível, houve um maior percentual de frutos verdes, variando de 22 a 28% e uma menor fração de frutos secos, de 7 a 12%; enquanto nas fileiras com sombreamento mais intenso (25 a 45% de radiação) ocorreu o oposto, apenas 4 a 7% dos frutos encontravam-se verdes e 15 a 18% secos.

Tais resultados conflitam com os encontrados na literatura, como os observados por Matiello e Fernandes (1989) e Matiello (1999). Como não efetuou-se um acompanhamento fenológico das plantas, é difícil afirmar o que possa ter provocado tal situação. No entanto, acredita-se que floradas tardias, bem como um maior número de floradas nos cafeeiros sob maior radiação, seriam os responsáveis por esses resultados, que contrastam com os das plantas sombreadas, onde provavelmente o florescimento foi mais precoce e mais concentrado.

Na segunda safra, figura 25b, o comportamento dos frutos inverteu-se. Os tratamentos com maior intensidade de radiação apresentaram um percentual menor de frutos verdes (9 a 10%) e um maior percentual de frutos secos (24 a 26%). Os cafeeiros mais sombreados apresentaram 15 a 18% de frutos verdes e 3 a 7% de frutos secos. O percentual de frutos maduros foi semelhante nos dois anos, variando de 65 a 80%, proporcionalmente ao grau de sombreamento. A amenização da temperatura, proporcionada pelo sombreamento, leva a um período mais longo de maturação do fruto, o que favorece a qualidade.

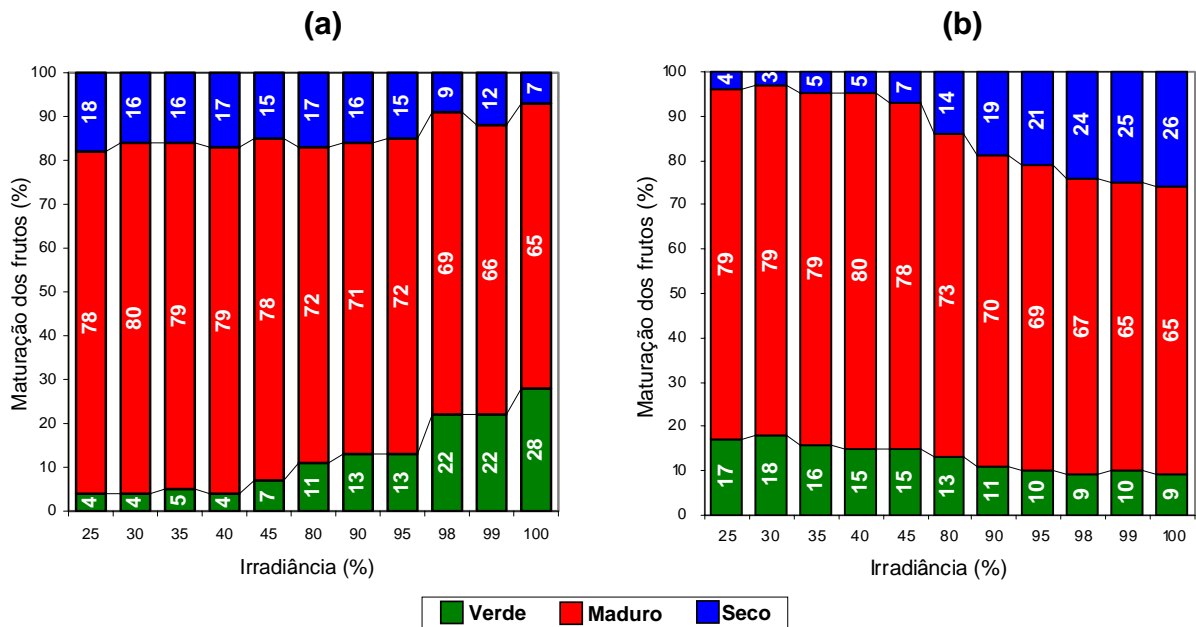


Figura 25 - Maturação de frutos de café no momento da colheita, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Dentan (1987) observou no cultivar Catuaí Amarelo, que o intervalo entre a florada e o ponto de máxima maturação era de 220 dias, dividido em uma fase de máximo crescimento dos grãos (cerca de 200 dias) e uma fase de transformações químicas (últimos 20 dias), de forte impacto sensorial negativo, até a complementação da maturação. Cortez (1997) verificou que o intervalo entre a florada e a maturação do fruto era alterado à medida que os plantios se localizavam em altitude mais elevada, no estado de Minas Gerais. Ciclos mais longos foram encontrados em locais de plantio de menor radiação solar e de menor temperatura ambiente, durante a fase de desenvolvimento do fruto. Ciclos mais longos entre a florada e a maturação favoreceriam a qualidade do café pela complementação da fase de transformações químicas; entretanto, um ciclo longo demais favoreceria a ocorrência de processos fermentativos deletérios à qualidade e à formação de grãos imperfeitos do café.

#### **2.3.3.2 Tamanho dos grãos**

O sombreamento teve influência positiva no tamanho dos grãos de café. Nas duas safras, houve redução linear na fração de grãos grandes, à medida que a radiação disponível aumentou (Figura 26). Esse fato provavelmente está associado à menor produtividade dos cafeeiros mais sombreados, que foram favorecidos a compor grãos de maior tamanho, uma vez que os frutos são o dreno principal. De outro modo, a elevada carga de frutos nos tratamentos com grande disponibilidade de irradiância, promove competição por fotoassimilados entre os frutos, reduzindo seu tamanho, bem como sua qualidade. O prolongamento do período de maturação dos frutos, também contribui para o enchimento dos grãos, resultando em grãos maiores.

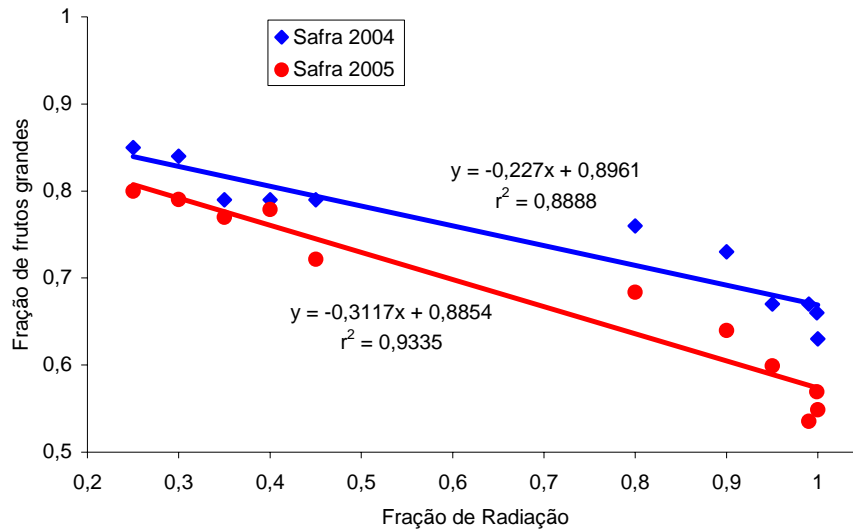


Figura 26 - Proporção de grãos de café de tamanho grande, referente às safras 2004 e 2005, em função da irradiância relativa, em Piracicaba-SP

Nas duas safras, em todos os tratamentos, os grãos de tamanho grande (peneiras de 17 e 18) e pequeno (peneiras de 12 a 14) representaram, respectivamente, a maior e a menor fração do peso total dos grãos (Figuras 27a e 27b).

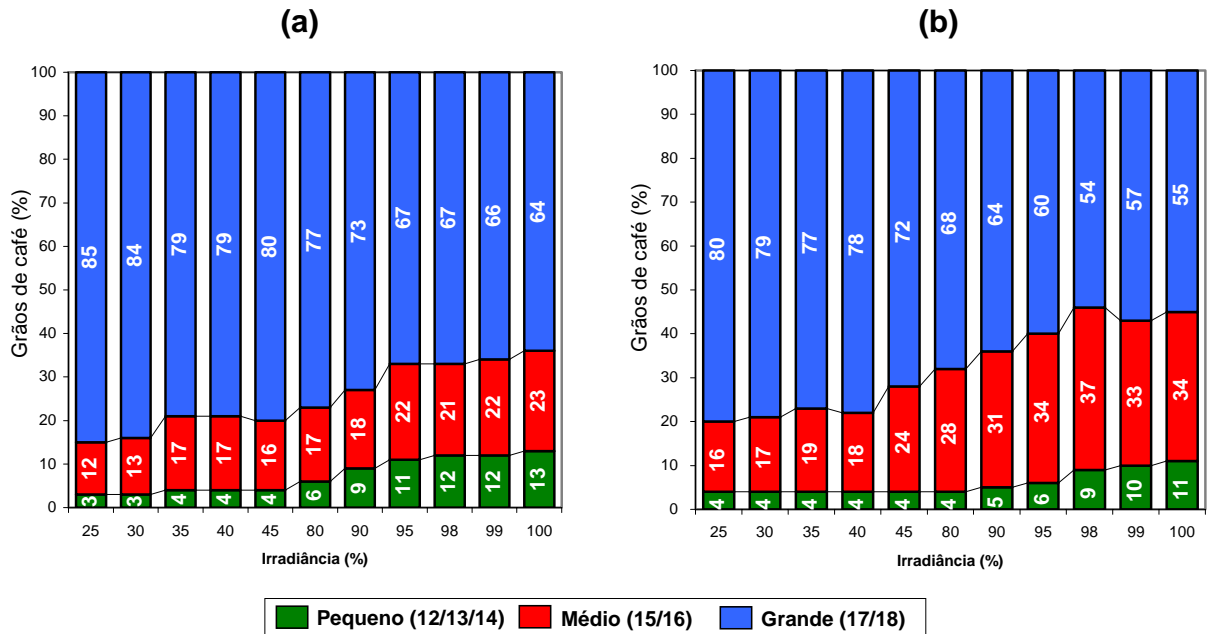


Figura 27 - Classificação dos grãos de café por tamanho, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Na primeira colheita, a proporção de grãos de tamanho grande no tratamento a pleno sol e no mais sombreado (25% de radiação) foi de 64 e 85%, respectivamente, o que significou um aumento de 25%. Na safra seguinte, as proporções foram de 55 e 80%, representando um acréscimo bem maior, de 45% (Figuras 27a e 27b). Nos tratamentos com sombreamento moderado (80 e 90% de radiação disponível), os grãos de tamanho grande representaram 77 e 73% na primeira safra e 68 e 64% na segunda.

Nas duas safras, em todos os tratamentos, houve uma maior proporção de grãos retidos na peneira de malha de maior diâmetro (18), conforme as Figuras 28a e 28b. Na primeira colheita, no tratamento a pleno sol, 41% dos grãos foi interceptado na peneira 18, enquanto no tratamento mais sombreado esse valor foi de 57%, representando 39% a mais. Na peneira subsequente, de tamanho 17, não ocorreu grande diferença entre os tratamentos, cuja variação foi de 23 a 28%. Na safra do segundo ano, o comportamento dessa variável foi bastante similar. No tratamento a pleno sol 30% dos grãos foi interceptado na peneira 18, ao passo que, no tratamento mais sombreado foi 45%. Os valores foram similares entre os tratamentos na peneira seguinte, variando de 23 a 35%. Nas demais peneiras, de tamanhos médio e pequeno, os percentuais cresceram com o aumento da radiação solar disponível aos cafeeiros, nas duas safras (Figuras 28a e 28b).

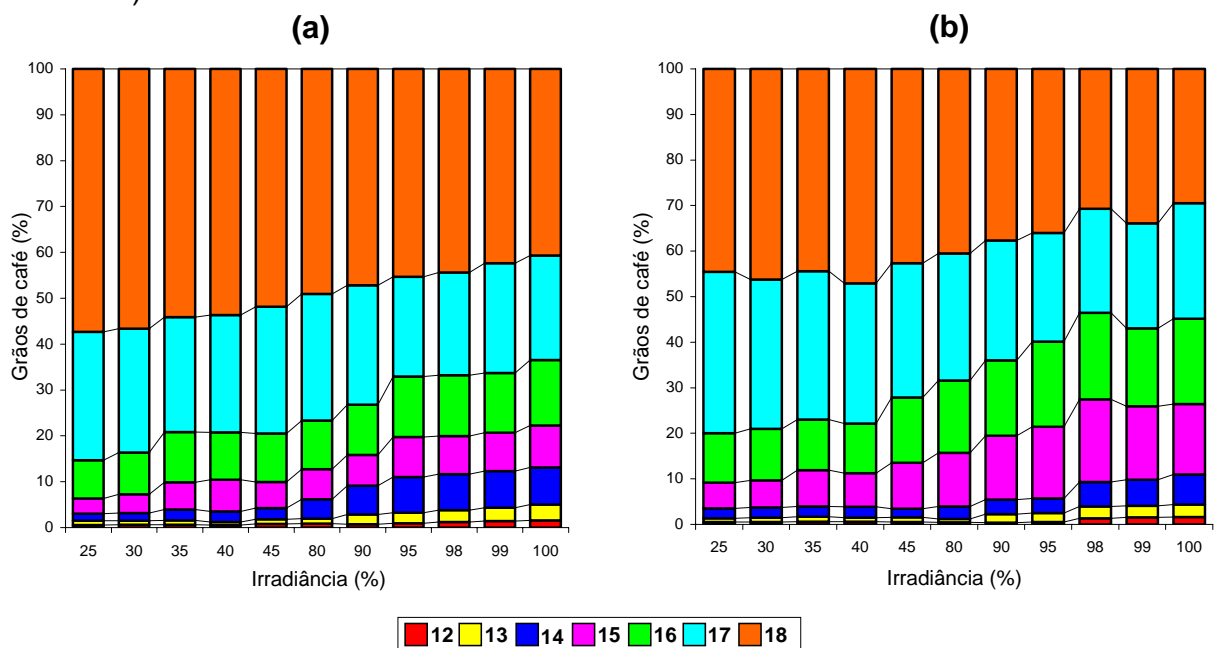


Figura 28 - Classificação dos grãos de café por peneira, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

Tais resultados estão de acordo com os observados por Guyot et al. (1996); Muschler (2001); Manoel; Ferreira e Segges (2002) e Vaast (2005) que verificaram um aumento significativo no tamanho dos grãos em cafeeiros sob sombreamento.

### 2.3.3.3 Análise sensorial da bebida

Pela avaliação sensorial da bebida (prova da xícara), verificou-se que a redução da irradiância disponível aos cafeeiros melhorou a qualidade da bebida. As amostras dos tratamentos com 35, 40, 45 e 80% de radiação disponível apresentaram resultados mais expressivos em aroma, corpo, bebida, observação e nota de conceito, em relação às amostras dos demais tratamentos. Estas tiveram aroma bom; corpo regular/bom, observação com características de limpa e leve adstringência, nota variando de 3,5 a 4,0 e bebida com classificação de “apenas mole” e “mole”, que são consideradas no mercado como suave e branda (Tabela 4).

Os tratamentos com maior nível de radiação solar disponível, 90, 95, 98, 99 e 100% proporcionaram piores características às amostras, com bebida de pior qualidade, predominando a classificação “dura” e uma amostra com bebida “leve riada” e outra com bebida “leve amargor”. Apresentaram notas de conceito bastante baixas, variando de 1,5 a 2,5, com aromas regulares, bem como notando-se observações de bebida com adstringência e fermentação (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação do café pela análise sensorial da bebida na safra 2004, em função da irradiância disponível, em Piracicaba-SP

<b>Radiação disponível</b>	<b>Aroma</b>	<b>Corpo</b>	<b>Acidez</b>	<b>Amargor</b>	<b>Bebida</b>	<b>Observação</b>	<b>Conceito</b>
35%	bom	reg/bom	normal	normal	ap. mole	limpa	3,5
40%	bom	reg/bom	normal	normal	mole	limpa	4,0
45%	bom	reg/bom	normal	normal	ap. mole	limpa/leve adst	3,5
80%	bom	reg/bom	normal	normal	ap. mole	limpa/leve adst	4,0
90%	regular	regular	normal	forte	ap. mole	adstringente	2,5
95%	regular	regular	normal	normal	dura	leve fermentada	2,0
98%	regular	regular	normal	normal	dura	adstringente	2,0
99%	regular	regular	normal	leve	leve riada	adstringente	2,0
100%	regular	regular	normal	normal	dura	fermentada	1,5

Em regiões subótimas à cafeicultura, o sombreamento pode prolongar o período de maturação dos frutos, em estágio cereja, em até seis semanas. Isso resulta em um maior enchimento dos grãos, ou seja, grãos de maior tamanho, e uma melhoria na composição bioquímica e na qualidade da bebida. Contudo, cultivos a pleno sol proporcionam menor acidez, maior amargor e adstringência (VAAST, 2005).

A acidez e o amargor foram normais para praticamente todos os tratamentos, exceto os tratamentos com 90 e 99% de radiação, que apresentaram amargor forte e leve, respectivamente. Em geral, cafés sombreados apresentam maior acidez do que os cultivados a pleno sol.

Muschler (2001) trabalhando em zona sub-ótima para o cafeeiro na Costa Rica, estudou o efeito de vários regimes de radiação solar em duas variedades de café arábica, cv. Caturra e Catimor. Ambas as variedades exibiram um significativo aumento no peso dos frutos frescos, no tamanho dos grãos, no corpo, na acidez e uma melhoria na aparência visual dos grãos, nos cafeeiros sob sombreamento. Contudo, o aroma não foi alterado no cultivar Caturra mas foi afetado negativamente com o sombreamento, no cultivar Catimor.

Conforme Caramori et al., (2004), no cafeeiro a pleno sol, o amadurecimento é forçado pelo excesso de radiação solar e pela temperatura, não propiciando ao fruto desenvolver as propriedades organolépticas que conferem qualidade à bebida. Não é raro observar frutos que passam rapidamente do estágio verde a maduro, sem o devido acúmulo de massa necessário para a sua formação adequada, ocasionando elevado número de grãos chochos, malformados e com peneiras baixas. Os autores acrescentam que, ao reduzir o excesso de produção e desacelerar o processo de maturação, uma arborização, bem manejada, pode atenuar esses problemas e propiciar a colheita de grãos melhor formados, de peneiras maiores e com melhor qualidade de bebida.

### 3 CONCLUSÕES

O crescimento e a produtividade do cafeeiro, assim como a qualidade do café, foram modificados pela disponibilidade de irradiância. No entanto, ao contrário do que foi postulado, não houve um nível de radiação solar ótimo para o crescimento e a produtividade da planta, mas sim um ponto de estabilização, diferenciado para as variáveis estudadas, que foi pouco alterado com a idade da planta.

O crescimento do cafeeiro aumentou com o incremento de irradiância, sendo que, a partir de 70%, praticamente não houve alteração no acúmulo de massa seca da parte aérea. As plantas sob menor disponibilidade de radiação solar apresentaram modificações morfofisiológicas, como aumento do tamanho dos internódios, da folha, da AFE e da RAF, capazes de garantir sua sobrevivência em tais condições; contudo, apresentado crescimento bastante reduzido.

A produtividade de café beneficiado aumentou com o incremento de radiação solar, modificando-se pouco a partir de aproximadamente 60% de irradiância e estabilizando-se em torno de 70%. Sob sombreamento muito intenso (25% de irradiância), a produtividade média de café beneficiado, nos dois anos, foi muito baixa, correspondendo a 9% da obtida a pleno sol.

Houve uma melhoria da qualidade do café com a redução da disponibilidade de irradiância, obtendo-se frutos com maior uniformidade de maturação, grãos de maior tamanho e bebida de melhor qualidade. Níveis de irradiância iguais ou inferiores a 80% propiciaram produto de qualidade superior.

Para as condições estudadas, demonstrou-se que um sombreamento moderado, na faixa de 20 a 30% (70 a 80% de irradiância), pode ser adequado para a cultura do cafeeiro, pois além de não prejudicar seu crescimento, propicia melhor qualidade do café e não reduz sua produtividade.



## REFERÊNCIAS

- ANDROCIOLI FILHO, A.; LIMA, F.B.; TRENTA, E.J., CARNEIRO FILHO, F.; CARAMORI, P.H.; SCHOLZ, M.B.S. Caracterização da qualidade da bebida dos cafés produzidos em diversas regiões do Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 256-257.
- BAGGIO, A.J.; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.37, p. 111-120, 1997.
- BARRADAS, V.L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, p. 101-112, 1986.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Influência dos fatores climáticos sobre a periodicidade de crescimento vegetativo do café (*Coffea arabica* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 116, p. 268-279, 1974.
- BEER, J.W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 5, p. 3-13, 1987.
- BEER, J.W.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, p. 139-164, 1998.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.
- BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 13-48.
- BERNARDES, M.S.; FURIA, L.R.R.; TERAMOTO, E.R.; BERNARDO, K.T. Interações abaixo da superfície do solo em sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e milho (*Zea mays*). In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMA AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: Embrapa/CPATU, 1998a, p. 14-16.

BERNARDES, M.S.; GOUDRIAAN, J.; DOURADO-NETO, D.; CÂMARA, G.M.S. Tree-crop interactions in agroforestry system of rubber with soybean and maize. In: CONGRESS OF THE EUROPEAN SOCIETY FOR AGRONOMY, 5., 1998, Nitra. **Short communications...** Nitra: ESA, 1998b. v. 2, p. 125-126.

BLACK, C.; ONG, C. Utilization of light and water in tropical agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 25-47, 2000.

CAIXETA, G.Z.T. Gerenciamento da cafeicultura em época de crise. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.1-24.

CAMARGO, A.P. de. A arborização como meio de reduzir as adversidades climáticas e promover a sustentação da cafeicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEÍRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: IBC, 1990. p. 6-7.

CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, P.C. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, 1985.

CAMPANHA, M.M.; SANTOS, R.H.S.; FREITAS, G.B. de; MARTINEZ, H.E.P.; GARCIA, S.L.R.; FINGER, F.L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brasil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 63, p. 75-82, 2004.

CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 41, n. 484, p. 245-253, July 1976.

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

CANNELL, M.G.R.; VAN NOORDWIJK, M.; ONG, C.K. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would otherwise acquire. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 33, n. 1, p. 1-5, 1996.

CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; BAGGIO, A. Arborização do cafezal com *Grevilea robusta* no norte do estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 1031-1037, 1995.

CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A.C. Coffee shade with Mimosa scabrella Benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 33, p. 205-214, 1996.

CARAMORI, P.H.; LEAL, A.C.; MORAIS, H.; HUGO, R.G.; KATHOUNIAN, C.A.; GRODZKI, L.; SILVA, V.P. de. Indicadores biofísicos de sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **Anais Eletrônicos...** Curitiba: Embrapa Florestas, 2004. 1 CD-ROM.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; ALFONSI, E.L. Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2002. v. 2, p. 16.

CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; TRIVELIN, P.C.O.; VOLTAN, R.B.Q. Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee species grown under different irradiance regimes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 63-68, 1999.

CARVAJAL, J.F. **Cafeto: cultivo y fertilización**. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1984. 254 p.

CARVALHO, V.D. de; CHAGAS, S.J. R.; SOUZA, S.M.C. de. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n. 187, p. 5-20, 1997.

CASTILHO, Z.J.; LOPES, A.R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeeiro. **Cenicafé**, Chichina, n. 17, p. 51-60, 1966.

CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. 650 p.

CAUSTON, D.R.; VENUS, J.C. **The biometry of plant growth**. London: Edward Arnold, 1981. 307 p.

CORTEZ, J.G. Aptidão climática para a qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p. 27-31, 1997.

DaMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2002. cap. 3, p. 93-136.

DENTAN, E. Étude microscopique du développement et de la maturation du grain de café. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, 11., 1985, Lomé. **Resumos...** Paris: ASIC, 1987. p.381-398.

EVANOFF, C.E.A. **Biología del café**. Caracas: Universidade Central de Venezuela, 1994. 308 p.

FAHL, J.I; CARELLI, M.L.C. Sombreamento na fisiologia e produtividade do cafeeiro. **News Cafeicultura**, Patrocínio, 3 set. 2004. Disponível em <<http://www.newscafeicultura.com.br/noticias.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2005.

FAHL, J.I; CARELLI, M.L.C.; VEJA, J.; MAGALHÃES, A.C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **The Journal of Horticultural Science**, London, v. 69, n. 1, p. 161-169, 1994.

FARRELL, J.G.; ALTIERI, M.A. Sistemas agroflorestais. In: ALTIERI, M.A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. p. 413-439.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 87-113.

FAZUOLI, L.C.; MEDINA FILHO, H.P.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M.B. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agronômico de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2002. cap. 5, p. 163-215.

FERNANDES, D.R. Manejo do cafezal. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 275-301.

FNP Consultoria & Comércio. **Agrianual**. São Paulo, 2004. 496 p.

FONSECA, A.F.A.; SARAIVA, J.S.T.; BRAGANÇA, S.M.; BREGONCI, I. dos S.; PELISSARI, S.A. Classificação do café. In: COSTA, E.B. da; SILVA, A.E.S. da; ANDRADE NETO, A.P.M. de; DAHER, F. de A. M. **Manual técnico para a cultura do café no Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995. p. 131-135.

FOURNIER, L.A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 12, n. 1, p. 131-146, 1988.

FREITAS, R.B. **Avaliações ecofisiológicas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Mull Arg.) em diferentes sistemas de cultivo**. 2000. 57 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

GIVINISH, T.J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. In: EVANS, J.R.; CAEMMERER, S. von; ADAMS III, W.W. (Ed.). **Ecology of photosynthesis in sun shade**. Melbourne: CSIRO, 1988. p. 63-92.

GÓMEZ, L.; JARAMILLO, A. Temperaturas em árvores de café al sol. **Cenicafé**, Chichina, v. 25, p. 61-62, 1974.

GOUVEIA, N.M. **Estudo da diferenciação e crescimento de gemas florais de *Coffea arabica* L.:** observações sobre antese e maturação dos frutos. 1984. 237 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

GUYOT, B.; GUEULE, D.; MANEZ, J.C.; PERRIOT, J.J.; GIRON, J.; VILLAIN, L. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés Arabica. **Plantations, Recherche, Développement**, Paris, v. 3, n. 4, p. 272-280, jull./acot 1996.

HERNANDEZ, O.; BEER, J.; VON PLANTEN, H. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra em Costa Rica. **Agroforesteria em las Américas**, Turrialba, v. 4, n. 13. p. 8-13. 1997.

HOPKINS, W.G. **Introduction to plant physiology**. New York: John Willey, 1995. 464 p.

JARAMILLO-BOTERO, C.; SANTOS, R.H.S.; MARTINEZ, H.E.P.; CECON, P.R.; SANTOS, C.R.; PERIN, A. Avaliação da uniformidade de maturação de frutos de cafeeiros submetidos a ambiente simulador de sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2004. p.301-303.

JARAMILLO-ROBLEDO, A. Condiciones micrometeorológicas en un cafetal bajo sombrío. **Cenicafé**, Chichina, v. 27, n. 4, p. 180-184, 1976.

KUMAR, D. Investigation into some physiological aspects of high density plantings of coffee (*Coffea arabica* L.). **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 43, n. 510. p. 263-272, Sep. 1978.

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.: I. effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, 1980.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 532 p.

MAJEROWICKS, N.; PERES, L.E.P. Fotomorfogênese em plantas. In: KERBAUY, G.B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. cap. 19, p. 421-438.

MANOEL, R.M.; FERREIRA, J.M.C.; SEGGES, J.H. Influência da sombra de bananeira (*Musa spp*) na qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) cultivados sob o sistema orgânico de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Caxambu: MAA/Procafé, 2002. p. 299-300.

MARQUES, P.C. Utilização de palmáceas produtoras de palmito, para sombreamento de café Conilon, no Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café; MINASPLAN, 2000. p. 1072-1073.

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

MATIELLO, J.B.; FERNANDES, D.R. Observações sobre arborização de cafezais em regiões cafeeiras da chapada, na Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Anais...** Maringá: MAA/Procafé, 1989. p. 238-239.

MATIELLO, J.B.; DANTAS, F.A.S.; CAMARGO, A.P. de; RIBEIRO, R.N.C. Níveis de sombreamento em cafezal na região serrana de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, 1989. p. 182.

MATIELLO, J.B.; MIGUEL, A.E.; ALMEIDA, S.R.; CAMARGO, A.P.; GUIMARÃES, E.S. Arborização com grevilea em variados espaçamentos, no controle às geadas, em cafezais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 20., 1994, Guarapari. **Trabalhos apresentados...** Guarapari: MARA/Procafé, 1994. p. 4-5.

MEDRI, M.E.; PEREZ, E.L. Aspectos da anatomia ecológica de folhas de *Hevea brasiliensis* Mell. Arg. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 10, n. 3. p. 463-493, 1980.

MELLO, E.V. A cafeicultura no Brasil. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. cap. 15, p. 565-606.

MELO, J.T. de; GUIMARÃES, D.P. A cultura do café em sistemas consorciados na região do Cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café; MINASPLAN, 2000. v. 2, p. 963-966.

MONTAGNINI, F. (Coord.). **Sistemas agroforestais: principios y aplicaciones en los trópicos**. 2.ed. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

- MORAIS, H. **Efeitos do sombreamento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) com guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) no norte do Paraná.** 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Caracterização microclimática de *Coffea arabica* sombreado com guandu (*Cajanus cajan*) e cultivado a pleno sol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 29., 2003, Araxá. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2003. p. 91-92.
- MORAIS, H.; MEDRI, M.E.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A. 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, Nov. 2004.
- MOREIRA, C.F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais.** 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- MUSCHLER, R.G. **Árboles em cafetales.** Turrialba: CATIE; Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1999. 139 p. (CATIE. Materiales de Enseñanza, 45).
- MUSCHLER, R.G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 85, p. 131-139, 2001.
- NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry.** Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. 499 p.
- NEVES, Y.P.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, C.M.; CECON, P.R. Crescimento e produção de *Coffea arabica*, fertilidade do solo e retenção de umidade em sistema agroflorestal. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2002. v. 3, p. 1294-1300.
- ONG, C.K.; CORLETT, J.E.; MARSHALL, F.M.; BLACK, C.R. Principles of resource capture and utilization of light and water. In: ONG C.K.; HUXLEY P. (Ed.). **Tree-crop interactions, a physiological approach.** Wallingford: CAB International, 1996. chap. 4, p. 73-158.
- PEREIRA, R.G.F.A. **Qualidade do café.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. (Informativo Técnico, 1).



PEZZOPANE, J.R.M.; GALLO, P.B. PEDRO JÚNIOR, M.J. ORTOLANI, A.A. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/coqueiro anão verde. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 293-302, 2003.

PIMENTA, C.J. **Qualidade de café**. Lavras: UFLA, 2003. 304 p.

RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C.K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, p. 3-50, 1998.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 13-85.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

RIGHI, C.A. **Interações ecofisiológicas acima e abaixo do solo em um sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. 2000, 130 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RIGHI, C.A. **Avaliação ecofisiológica do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e em monocultivo**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RIGHI, C.A.; BERNARDES, M.S.; TERAMOTO, E.R.; FAVARIN, J.L. Adaptação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) ao sombreamento em sistema agroflorestal com seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais eletrônicos...** Ilhéus: CEPLAC; UESC, 2002. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, V.G.S.; COSTA, R.S.C.; LEÔNIDAS, F.C.; FREIETAS, J.C. Arborização em lavouras de café conilon – experiência de agricultores em Rondônia – Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2002. v. 3, p. 1245-1248.

RODRIGUEZ, L.; VALDÉS, R.; VERDECIA J.; ARIAS, L.; MEDINA, R.; VELASCO, E. Growth, relative water content, transpiration and photosynthetic pigment content in coffee trees (*Coffea arabica* L.) growing at different. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 22, n. 4, p. 37-41, 2001.

RODRIGUEZ, L.A.; OROZCO, V.; VELASCO, E.; MEDINA, R.; VERDECIA, J.; FONSECA, I. Niveles óptimos de radiación solar y su relación con el crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del cafeto (*Coffea arabica* L.). **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 20, n. 4, p. 45-49, 1999.

SALAZAR, E.; MUSCHLER, R.; SANCHES, V.; JIMÉNEZ, F. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. **Agroforesteria en las Americas**, Turrialba, v. 7, n. 26, p. 40-42, 2000.

SALGADO, B.G. **Caracterização de sistemas agroflorestais com cafeeiro em Lavras – MG**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado em Florestas de Produção) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNANDEZ, J.; CABALLERO-NIETO, J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 80, p. 61-69, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

TOLEDO, J.L.B.; BARBOSA, A.T. **Classificação e degustação de café**. Brasília: SEBRAE; Rio de Janeiro: ABIC, 1998. (Série Agronegócios).

VAAST, P. Sostenibilidad, calidad del café e impactos ambientales de los sistemas agroforestales con café de Centroamerica. **Boletín de Promecafe**, San José, n. 103, p. 6-13, feb./mayo 2005.

VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J.J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 86, n. 2, p. 197-204, Oct. 2005.

VOLTAN, R.B.Q.; FAHL, J.I; CARELLI, M.L.C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidade luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A - Valores da probabilidade de F (Snedecor) em que foram analisadas as variáveis de produção mensuradas no cafeeiro, sendo bloco a repetição de 1 a 4; tratamento o gradiente de radiação solar (25, 30, 35, 40, 45, 80, 90, 95, 98, 99 e 100%); média geral da variável; C.V. o coeficiente de variação, em %

Variável	Pr > F		Média Geral	C.V.
	Bloco	Tratamento		
Produção café coco - Safra 2004 (kg.planta <sup>-1</sup> )	0,0101	< 0,0001	0,8042	12,81
Produção café coco - Safra 2005 (kg.planta <sup>-1</sup> )	0,2563	< 0,0001	0,6840	14,83
Produção café beneficiado - Safra 2004 (kg.planta <sup>-1</sup> )	0,0067	< 0,0001	0,4871	13,36
Produção café beneficiado - Safra 2005 (kg.planta <sup>-1</sup> )	0,6617	< 0,0001	0,3769	13,21
Produção café coco - Safra 2004/2005 (kg.planta <sup>-1</sup> )	0,0859	< 0,0001	0,7143	8,70
Produção café beneficiado - Safra 2004/2005 (kg.planta <sup>-1</sup> )	0,0210	< 0,0001	0,4320	8,57
Rendimento - Safra 2004 (%)	0,4460	< 0,0001	61,5115	2,52
Rendimento - Safra 2005(%)	0,0710	0,5089	56,1217	6,75
Índice de bienalidade da produção	0,8751	0,0001	0,7951	5,75

APÊNDICE B - Valores da probabilidade de F (Snedecor) em que foram analisadas as variáveis de matéria seca da parte aérea da planta mensuradas no cafeeiro, sendo bloco a repetição de 1 a 4; tratamento o gradiente de radiação solar (25, 30, 35, 40, 45, 80, 90, 95, 98, 99 e 100%); média geral da variável; C.V. o coeficiente de variação, em %

Variável	Pr > F		Média Geral	C.V.
	Bloco	Tratamento		
Matéria seca total (g)	0,2882	< 0,0001	1563,5110	5,67
Matéria seca do caule (g)	0,3081	< 0,0001	307,6064	8,37
Matéria seca dos ramos (g)	0,6378	< 0,0001	357,8666	11,65
Matéria seca das folhas (g)	0,1758	< 0,0001	515,4430	8,11
Matéria seca dos frutos (g)	0,4862	< 0,0001	382,5948	12,83
Número de ramos plagiotrópicos primários	0,2153	< 0,0001	61,8864	5,06
Número de ramos plagiotrópicos secundários	0,4097	< 0,0001	130,2955	9,79
Número de ramos plagiotrópicos terciários	0,9033	< 0,0001	16,3864	10,01
Número de nós do ramo plagiotrópico	0,7336	< 0,0001	13,9943	5,98
Número de nós do ramo ortotrópico	0,5715	< 0,0001	33,9773	6,11
Tamanho do internódio do ramo plagiotrópico (cm)	0,9530	< 0,0001	3,4121	6,39
Tamanho do internódio do ramo ortotrópico (cm)	0,9692	< 0,0001	3,4805	6,22
Área individual da folha (cm <sup>2</sup> )	0,2085	< 0,0001	59,1673	7,21

APÊNDICE C - Valores da probabilidade de F (Snedecor) em que foram analisadas as variáveis de crescimento da planta mensuradas no cafeeiro, sendo bloco a repetição de 1 a 4; tratamento o gradiente de radiação solar (25, 30, 35, 40, 45, 80, 90, 95, 98, 99 e 100%); média geral da variável; C.V. o coeficiente de variação, em %

Variável	Época de Avaliação	Pr > F		Média Geral	C.V.(%)
		Bloco	Tratamento		
Diâmetro do caule (mm)	1 <sup>a</sup>	0,3108	< 0,0001	7,7546	7,39
	2 <sup>a</sup>	0,9533	< 0,0001	16,9829	5,17
	3 <sup>a</sup>	0,2178	< 0,0001	25,5833	4,82
	4 <sup>a</sup>	0,7955	< 0,0001	32,3039	3,75
	5 <sup>a</sup>	0,7562	< 0,0001	34,9353	3,08
	6 <sup>a</sup>	0,6767	< 0,0001	38,5972	4,41
Diâmetro da copa (cm)	1 <sup>a</sup>	0,5706	0,1221	32,9470	7,55
	2 <sup>a</sup>	0,9161	0,9932	73,9704	6,47
	3 <sup>a</sup>	0,2623	0,0768	91,9258	5,37
	4 <sup>a</sup>	0,3737	0,3421	123,1152	5,97
	5 <sup>a</sup>	0,6294	0,3212	131,8289	5,36
	6 <sup>a</sup>	0,6577	0,5180	144,2286	3,82
Altura total (cm)	1 <sup>a</sup>	0,3926	0,9467	33,8241	6,32
	2 <sup>a</sup>	0,1298	0,1520	61,4048	3,60
	3 <sup>a</sup>	0,2189	0,9794	84,1531	6,04
	4 <sup>a</sup>	0,2799	0,6667	119,5164	5,34
	5 <sup>a</sup>	0,1405	0,2476	130,2600	3,83
	6 <sup>a</sup>	0,6927	0,9995	145,5277	4,93
Altura inicial da copa (cm)	1 <sup>a</sup>	0,1258	0,0012	19,7472	6,49
	2 <sup>a</sup>	0,1179	0,0003	20,3196	5,65
	3 <sup>a</sup>	0,0988	< 0,0001	21,1123	6,06
	4 <sup>a</sup>	0,4498	0,0002	22,2683	6,83
	5 <sup>a</sup>	0,0381	< 0,0001	24,0434	4,57
	6 <sup>a</sup>	0,5018	< 0,0001	26,7136	4,68
Área foliar (m <sup>2</sup> )	1 <sup>a</sup>	0,2646	< 0,0001	0,1805	5,56
	2 <sup>a</sup>	0,7376	< 0,0001	1,2830	9,52
	3 <sup>a</sup>	0,0130	< 0,0001	1,9245	8,59
	4 <sup>a</sup>	0,2064	< 0,0001	5,1651	9,04
	5 <sup>a</sup>	0,3239	< 0,0001	7,2017	10,44
	6 <sup>a</sup>	0,3239	< 0,0001	7,2017	10,44

APÊNDICE D - Valores da probabilidade de F (Snedecor) em que foram analisadas as variáveis de índices de crescimento da planta mensuradas no cafeeiro, sendo bloco a repetição de 1 a 4; tratamento o gradiente de radiação solar (25, 30, 35, 40, 45, 80, 90, 95, 98, 99 e 100%); média geral da variável; C.V. o coeficiente de variação, em %

Variável	Pr > F		Média Geral	C.V.(%)
	Bloco	Tratamento		
Taxa de crescimento absoluto – TC A (g.mês <sup>-1</sup> )	0,2778	< 0,0001	51,3925	5,74
Taxa de crescimento relativo – TCR (g.g <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup> )	0,4216	< 0,0001	0,1411	2,73
Taxa de assimilação líquida – TAL (g.m <sup>-2</sup> .mês <sup>-1</sup> )	0,4959	< 0,0001	26,6337	7,17
Razão de área foliar – RAF (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	0,1510	< 0,0001	0,0047	8,66
Área foliar específica – AFE (m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> )	0,2451	< 0,0001	0,0146	7,99
Índice de área foliar - IAF	0,0680	< 0,0001	4,2253	11,53