



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

HEVERLY MORAIS

**EFEITOS DO SOMBREAMENTO ARTIFICIAL
DURANTE O DESENVOLVIMENTO DAS GEMAS
FLORAIS EM *Coffea arabica* L.**

Londrina
2006

HEVERLY MORAIS

**EFEITOS DO SOMBREAMENTO ARTIFICIAL
DURANTE O DESENVOLVIMENTO DAS GEMAS
FLORAIS EM *Coffea arabica* L.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Maria A. Ribeiro
Co-orientador: Dr. Paulo Henrique Caramori

Londrina
2006

HEVERLY MORAIS

**EFEITOS DO SOMBREAMENTO ARTIFICIAL
DURANTE O DESENVOLVIMENTO DAS GEMAS
FLORAIS EM *Coffea arabica* L.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Agronomia da Universidade
Estadual de Londrina.

Aprovada em: 13/12/2006

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete	UEL
Prof. Dr. Moacyr Eurípedes Medri	UEL
Dr. Leocádio Grodzki	IAPAR
Dr. Celso Jamil Marur	IAPAR
Dra. Dalziza de Oliveira	IAPAR
Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri	UEL

Dr. Paulo Henrique Caramori
Co-orientador

TODO HOMEM SIMPLES

Todo homem simples leva em sua alma um sonho,
com amor e humildade poderá construí-lo.

Se com fé fores capaz de viver humilde,
mais ditoso tu serás mesmo nada tendo.

Se pusesses cada dia com teu próprio esforço,
uma pedra sobre outra alto chegarás.

Numa vida simples acharás a forma,
pela qual teu coração obterá calma.

Os gozos mais singelos sempre são mais belos,
e são aqueles que ao final serão os maiores.

Pondo e pondo cada dia com teu próprio esforço,
uma pedra sobre outra alto chegarás.

Ignácio Larrañaga

AGRADECIMENTOS

Agradeço de modo especial ao meu co-orientador Dr. Paulo Henrique Caramori pelo seu incentivo, confiança, dedicação, apoio e orientação. Uma pessoa maravilhosa, que não mediu esforços para me ajudar não só na realização deste trabalho, mas em todo meu crescimento profissional. Obrigada Paulo!!!

À minha orientadora Prof. Dr. Ana Maria de Arruda Ribeiro, aos meus parceiros de campo Mirian Sei Kogushi e Elcio Moreno Carvalhal e aos amigos Dr. Celso Jamil Marur, Dr. Alex Carneiro Leal, José Carlos Gomes e Eduardo Yasuji Chibana, que muito me ajudaram com seus conhecimentos, experiências, trabalho e boa vontade. De coração... Obrigada!!!

Ao IAPAR pelo apoio na condução do experimento, à UEL pelo apoio administrativo e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Que Deus abençoe a todos.

MORAIS, Heverly. **Efeitos do sombreamento artificial durante o desenvolvimento das gemas florais em *Coffea arabica* L.** 2006. 112p. Tese de Doutorado em Agronomia - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

RESUMO

O sombreamento de cafezais é uma técnica que tem sido utilizada em muitos países devido ao seu elevado potencial de sustentabilidade. No sul e sudeste do Brasil a arborização cafeeira tem uma vantagem especial: proteção contra geadas. Todavia o sombreamento, dependendo da espécie utilizada, densidade, manejo de solo e condições climáticas, pode causar decréscimos na produção. Com a finalidade de obter conhecimentos básicos e específicos do sombreamento parcial sobre os diferentes aspectos do ciclo reprodutivo do cafeeiro, analisou-se os efeitos da evolução das gemas florais, flores e frutos. Para isso, foram avaliados no município de Londrina, PR (23°23' S, 50°11' W, 610 m), cafeeiros da espécie *Coffea arabica*, cultivar IAPAR 59, sombreados com malhas do tipo “sombrite” com 50% de porosidade, entre os meses de abril a setembro de 2004, período correspondente à fase de desenvolvimento das gemas florais. Foi adaptada uma escala fenológica para auxiliar técnicos e agricultores na identificação das diferentes fases do ciclo reprodutivo do cafeeiro. Paralelamente foram avaliadas características microclimáticas, morfológicas externas, fisiológicas e produtivas de cafeeiros sombreados e cultivados a pleno sol. O sombreamento interceptou parte da radiação gerando um microclima mais ameno com atenuação das temperaturas extremas, desfavoráveis à espécie *Coffea arabica*. O sombreamento somente na fase de desenvolvimento floral, não alterou o crescimento das gemas florais e o número de flores. As taxas de fotossíntese líquida medidas durante o período coberto foram similares em todos os tratamentos. A densidade e o período de sombreamento utilizado não influenciaram na produção, crescimento, maturação e tamanho dos frutos dos cafeeiros. Os resultados indicam que a redução de 50% da radiação incidente em cafeeiros, durante outono e inverno, pode ser uma importante estratégia para reduzir estresses térmicos visando à proteção contra geadas moderadas e altas temperaturas, sem prejuízos na produção.

Palavras-chaves: Café, sombrite, microclima, fenologia, florescimento, produção

MORAIS, Heverly. **Effects of artificial shading during the development of floral buds in *Coffea arabica* L.** 2006. 112p. Tese de Doutorado em Agronomia - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

ABSTRACT

Coffee shading is a technique that has been recommended in many producing countries, due to its high sustainability potential. In the South and Southeast of Brazil shading of coffee plantations has the extra advantage of protecting against frost. Nevertheless, depending on shade species, shading density, soil management and climatic conditions, shading can cause significant decreases of coffee production. Aiming at obtaining basic and specific knowledge about the reproductive cycle of shaded coffee, a study was carried out to characterize the evolution of floral buds, flowers and fruits in Londrina, Parana state, Brazil (23°23' S, 50°11' W, 610 m). In the year of 2004, adult coffee plants of *Coffea arabica* cultivar IAPAR 59 were covered with meshes of the type "shadehouse" (sombrite) with 50% of porosity, from April to September, period corresponding to differentiation and development of the floral buds. Based on visual observations, a phenological scale was adapted and is proposed to help the extension service and farmers to identify the evolution of the reproductive cycle of the coffee plant. Simultaneously, field evaluations of microclimate and traits related to the crop morphology, physiology and production were performed, both on shaded and unshaded conditions. The results revealed that shading provided a milder microclimate through the interception of part of the incident radiation, which led to the attenuation of extreme temperatures unfavorable to coffee growth and production. Shading during the phase of floral buds did not affect growth and the number of buds. Photosynthesis rates were similar in all treatments. Shading density and the period of shading did not have effect on production, growth and maturation of the coffee beans. The results obtained indicate that the reduction of up to 50% of incident radiation during the autumn and winter could be an important strategy to reduce thermal stresses, providing protection against moderate frosts and high temperatures.

Key words: Coffee, shade, microclimate, phenological scale, flowering, production

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	
2.1 O Cafeeiro	4
2.1.1 Histórico	4
2.1.2 Aspectos climáticos e fisiológicos.....	4
2.1.3 Fenologia	6
2.1.3.1 Gemas florais.....	7
2.1.3.2 Indução floral.....	8
2.1.3.3 Dormência das gemas florais.....	13
2.1.3.4 Florescimento	14
2.1.3.5 Frutificação	14
2.1.3.6 Maturação	15
2.2 Sombreamento de cafeeiros.....	16
2.2.1 Considerações gerais	16
2.2.2 Aspectos climatológicos	18
2.2.3 Aspectos fisiológicos.....	21
2.2.4 Sombreamento e os componentes da produção.....	24
2.2.5 Produção	25
2.2.6 Manejo.....	27
Referências.....	29
3 FENOLOGIA DA FASE REPRODUTIVA DO CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO COM O CLIMA	37
Resumo	37
Abstract.....	38
3.1 Introdução.....	39
3.2 Material e Métodos.....	41
3.3 Resultados e Discussão.....	42
3.4 Conclusão	48
Referências	48

4 CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA DE CAFEEIROS SOMBREADOS ARTIFICIALMENTE E CULTIVADOS A PLENO SOL	51
Resumo	51
Abstract.....	52
4.1 Introdução.....	53
4.2 Material e Métodos.....	55
4.3 Resultados e Discussão.....	57
4.4 Conclusão	66
Referências	66
5 INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO DAS GEMAS FLORAIS FLORAÇÃO E FOTOSÍNTESE DE CAFEEIROS	70
Resumo	70
Abstract.....	71
5.1 Introdução.....	72
5.2 Material e Métodos.....	74
5.3 Resultados e Discussão.....	77
5.4 Conclusão	86
Referências	86
6 FRUTIFICAÇÃO E PRODUÇÃO DE CAFEEIROS SOMBREADOS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DE GEMAS REPRODUTIVAS	91
Resumo	91
Abstract.....	92
6.1 Introdução.....	93
6.2 Material e Métodos.....	95
6.3 Resultados e Discussão.....	98
6.4 Conclusão	107
Referências	107
7 CONCLUSÕES GERAIS	111

1 INTRODUÇÃO

O clima é um dos fatores determinantes da produção agrícola, sendo responsável por cerca de 60% a 70% da variabilidade final da produção. Deste modo, é extremamente importante que haja um aproveitamento racional das condições climáticas e, principalmente, sua adequação, com uso de tecnologias de apoio e meios de produção alternativos.

O sombreamento de cafezais no Brasil é uma tecnologia que vem ganhando importância nos últimos tempos. O ponto chave da expansão desse sistema de produção é a capacidade de satisfazer mega-tendências mundiais como: competitividade, internacionalização, mudanças nos padrões de consumo e conscientização ecológica. Além disso, o sombreamento de cafeeiros pode contribuir para viabilizar o cultivo no sistema orgânico, minimizar gastos com insumos, promover melhor qualidade de bebida, gerar fonte de renda adicional para o agricultor, promover a manutenção de sistemas equilibrados, com preservação da biodiversidade, solo, qualidade dos recursos hídricos e seqüestro de carbono e amenizar adversidades climáticas como geadas, secas e altas temperaturas.

Apesar do destacado potencial desta técnica ainda é pequeno o conhecimento sobre o desenvolvimento das plantas em sistemas arborizados devido à complexidade dos estímulos e das múltiplas reações das plantas. Nas condições brasileiras o desenvolvimento da gema floral do cafeeiro ocorre no outono/inverno. Nesta fase, interferências no microclima do cafezal, como o uso de sombreamento, podem ter conseqüências no potencial produtivo da lavoura. Portanto, é necessário um conhecimento detalhado a respeito da fenologia do cafeeiro e das fases mais críticas de sombreamento, para que a competição por luz seja minimizada e não comprometa a produtividade.

No Brasil existem poucos trabalhos associando variáveis climáticas com a fenologia do cafeeiro e sua produção. Diante da importância desse assunto, este estudo sobre desenvolvimento reprodutivo de *Coffea arabica* e sua relação com os fatores climáticos se faz necessário para ampliar conhecimentos científicos básicos e específicos, contribuindo para a solução de desafios que a cafeicultura enfrenta, como (i) detalhamento das fases de desenvolvimento críticas para o manejo, (ii) duração, época e densidade de sombreamento e seus efeitos, (iii) influência das condições ambientais no desenvolvimento reprodutivo.

Diversos trabalhos mostram que a quantidade de radiação interceptada pela cobertura e o regime de radiação dentro do dossel podem influenciar no balanço de energia do cafeeiro e afetar a floração, taxa de fotossíntese, produção, maturação, tamanho dos frutos e qualidade da bebida. Aparentemente a quantidade ótima de radiação depende do nível de manejo do solo (maior ou menor uso de insumos químicos) e manejo das árvores sombreadoras (espécie, poda e arranjo). Também não estão bem definidas a época e a duração do sombreamento, variáveis críticas à indução floral e florescimento. As respostas a todas essas questões são de grande valia para incrementar a produtividade do café, aumentar a renda do cafeicultor e contribuir para gerar o desenvolvimento sustentável desse setor.

A hipótese a ser testada neste trabalho é que no período de outono-inverno, quando há necessidade de proteger os cafezais contra geadas, a competição por luz é um fator crítico que afeta o desenvolvimento das gemas florais e a produção de café. Este fato ficou evidente em estudos anteriores com sombreamento denso durante o ano todo, em que a produção de café foi drasticamente reduzida.

Para avaliar esta hipótese os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Elaborar uma escala fenológica detalhada da fase reprodutiva do cafeeiro e investigar sua correlação com o clima;

- Caracterizar as alterações microclimáticas em cafeeiros sombreados artificialmente durante a fase de desenvolvimento de gemas florais, simulando as condições de competição por luz observadas nos Sistemas Agroflorestais e comparando com cafeeiros cultivados a pleno sol;
- Avaliar a influência do sombreamento de cafeeiros em diferentes épocas, sobre o desenvolvimento das gemas florais, floração e fotossíntese;
- Verificar a influência do sombreamento artificial em diferentes épocas durante o período de desenvolvimento de gemas florais (outono/inverno) sobre a produção, crescimento, maturação e tamanho dos frutos de *Coffea arabica*.

A tese é apresentada na forma de quatro artigos científicos, a saber:

Artigo 1: Caracterização fenológica reprodutiva de cafeeiros e sua relação com o clima;

Artigo 2: Caracterização microclimática de cafeeiros sombreados artificialmente e cultivados a pleno sol;

Artigo 3: Influência do sombreamento no desenvolvimento das gemas florais, floração e fotossíntese de cafeeiros;

Artigo 4: Frutificação e produção de cafeeiros sombreados durante o desenvolvimento de gemas florais.

Antecedendo a apresentação dos referidos artigos encontra-se uma Introdução e uma Revisão de Literatura de caráter geral.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o efeito da redução da radiação incidente (sombreamento) durante a fase de desenvolvimento da gema floral sobre a produção de café.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Cafeeiro

2.1.1 Histórico

O cafeeiro é uma planta perene do gênero botânico *Coffea* da família Rubiaceae, que contém cerca de 500 gêneros e mais de 6000 espécies, a maioria árvores e arbustos encontrados nos sub-bosques das florestas tropicais. A primeira denominação botânica do café foi *Jasminum arabicum laurifolia*, incluído na família Oleaceae por Antoine de Jussieu em 1714. Linnaeus descreveu o gênero *Coffea* em 1737 e a espécie *Coffea arabica* L. em 1753, nome que perdura até hoje (WRIGLEY, 1988).

As florestas montanas latifoliadas das regiões de Jimma e Kaffa, na Etiópia, e no platô de Boma, no Sudão, são consideradas o centro de origem da espécie *Coffea arabica*. Estas regiões, situadas aproximadamente entre 6 e 9° de latitude Norte e 34 e 40° de longitude Leste, apresentam clima ameno em função da altitude que varia de 1600 a 2000 m. A temperatura do ar oscila entre 17 e 20°C e as chuvas anuais variam entre 1500 e 1800mm, bem distribuídas, com um período seco definido de quatro a cinco meses (WRIGLEY, 1988; CARVALHO, 1988).

Das diversas espécies de *Coffea* descritas, apenas duas possuem importância econômica, *C. arabica* L. (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café robusta). Cerca de 70% do café comercializado no mundo é o arábica, que no Brasil corresponde a aproximadamente 80% do café plantado (BARROS et al., 1995; MATIELLO et al., 2002).

2.1.2 Aspectos climáticos e fisiológicos

Temperaturas médias anuais entre 18 e 21°C, sem grandes variações sazonais são os limites mais indicados para *C. arabica* (CAMARGO, 1985). Estudos

evidenciam que temperaturas extremas prejudicam o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro (FRANCO 1956; FRANCO, 1960; CAMARGO e SALATI, 1967). Temperaturas acima de 30°C por um período prolongado, causam danos nas folhas e se ocorrerem na fase de florescimento, podem provocar abortamento dos botões florais e má formação de flores (flores estrelinhas). Em regiões com temperatura média anual acima de 23°C se antecipam o desenvolvimento e a maturação dos frutos, com perdas na qualidade (CAMARGO, 1985). O cafeeiro também se mostra pouco tolerante ao frio. Temperatura das folhas próxima a -2°C provoca início de danos nos tecidos (CAMARGO e SALATI, 1967), e temperaturas foliares entre -3 e -4° provocam danos severos e morte dos tecidos (FERRAZ, 1968).

Com relação à precipitação, Alegre (1959) menciona que a quantidade ótima situa-se entre 1200 e 1800 mm, embora outros autores relatam que o cafeeiro cresce sob ampla faixa de precipitação (DaMATTA e RENA, 2002). Essa variação se dá porque o suprimento hídrico depende de outros fatores como a distribuição das chuvas e a evapotranspiração da cultura no decorrer do ciclo, o que compensa a ocorrência de precipitações relativamente baixas. As perdas na produção cafeeira em decorrência da deficiência hídrica estão relacionadas com o estágio de desenvolvimento da planta. Camargo (1985) analisando dados de balanço hídrico, adaptado de Thornthwaite e Mather (1955), em várias regiões produtoras do Brasil, menciona que a produção econômica do cafeeiro arábica suporta deficiências de até 150 mm anuais quando a estação seca coincide com a maturação e a colheita; mas durante o período de frutificação, deficiências anuais superiores a 100 mm podem ocasionar quebras na produtividade.

Segundo Kumar e Tieszen (1980) cafeeiros sob moderada irradiância (entre 1200 e 1300 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) não sofrem danos no aparelho fotossintético. No entanto, níveis de radiações acima de 2200 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, comuns em dias ensolarados nas regiões

tropicais, podem induzir a fotoinibição (NUNES et al., 1993). Reduções na assimilação de CO₂ observadas em folhas de cafeeiros sob alta radiação têm sido associadas com temperatura foliar, as quais, acima de 25°C provocam o fechamento dos estômatos (NUNES et al., 1968; KUMAR e TIESZEN, 1980). A alta radiação não diminuiu a fotossíntese em folhas de cafeeiros quando a temperatura na câmara de assimilação de CO₂ foi mantida até 25°C (FAHL et al., 1994). Por outro lado, Kumar e Tieszen (1980) observaram que a fotossíntese em plantas sombreadas foi substancialmente maior que naquelas a pleno sol, já que a temperatura foliar estava por volta de 25°C. Em resumo, fatores climáticos como luz e temperatura interagem para definir um nível ótimo propício para o processo fisiológico, sendo que sua ação depende do estado hídrico e nutricional da planta.

2.1.3 Fenologia

Fenologia é o estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente. A ordenação desses eventos possibilita determinar as relações e o grau de influência dos fatores envolvidos. O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) leva dois anos para completar seu ciclo fenológico. No primeiro ano, de setembro a março, formam-se os ramos vegetativos com gemas axilares nos nós. Ainda neste primeiro ano há indução, desenvolvimento e dormência das gemas florais (março-setembro). O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, em seguida há a formação dos chumbinhos, expansão, granação e maturação dos frutos (setembro-junho). Finalmente advém a senescência, morte dos ramos plagiotrópicos terminais e auto-poda (julho-agosto) (CAMARGO e CAMARGO, 2001). Pezzopane et al. (2003a) desenvolveram uma escala de notas para avaliar os estádios fenológicos do período reprodutivo do cafeeiro arábica, baseada em números: 0 (gema dormente); 1 (gema intumescida); 2 (abotoado); 3 (florada); 4 (pós-florada); 5 (chumbinho); 6 (expansão dos frutos); 7 (grão verde); 8 (verde cana); 9 (cereja); 10 (passa); 11 (seco).

Quando cultivado em condições em que é estimulado a produzir plenamente, o cafeeiro expressa a natureza fisiológica da bienalidade da produção, ou seja, em anos alternados ocorre alta produção, devido à concorrência entre as funções vegetativas e reprodutivas. Nos anos de alta produção, o crescimento dos frutos absorve a maior parte da atividade metabólica da planta, reduzindo o desenvolvimento vegetativo. Como em *C. arabica* o fruto se desenvolve nas partes novas dos ramos crescidos no ano anterior, ocorre, conseqüentemente, produção menor no ano seguinte ao de elevada produção. O crescimento dos ramos novos depende da quantidade de frutos em desenvolvimento e o volume de produção é proporcional ao vigor vegetativo e ao número de nós e gemas florais formadas na estação vegetativa anterior (CAMARGO e CAMARGO, 2001).

2.1.3.1 Gemas florais

Em *C. arabica* as gemas florais dos nós presentes nos ramos plagiotrópicos são de origem axilar e aparecem sucessivamente, e não simultaneamente. Em cada gema observa-se de um a seis botões. Para a delimitação da condição de uma gema floral diferenciada, exames microscópicos são necessários. A gema floral pode entrar em repouso até três vezes antes da antese: a) logo após a sua formação; b) em um período conhecido como latência ou dormência, que ocorre no período seco (julho até as primeiras chuvas), quando as gemas estão floralmente determinadas, bastante desenvolvidas, medindo de 3 a 6 mm e envoltas por brácteas; c) quando os botões já são completamente perceptíveis e têm coloração esverdeada. Somente neste último ponto se pode assegurar, a olho nu, que as gemas estão floralmente determinadas, ou seja, não se reverterem mais à condição de gema vegetativa (WORMER e GITUANJA, 1970; BROWNING, 1971; RAYNER, 1946).

2.1.3.2 Indução floral

As angiospermas podem ser divididas em dois amplos grupos. No primeiro grupo as gemas florais se iniciam em resposta a um estímulo específico, tal como fotoperíodo ou a vernalização, mas no segundo grupo o florescimento não é controlado por um fator isolado (JACKSON e SWEET, 1972). Aparentemente o cafeeiro, assim como a maioria das plantas perenes, situa-se no segundo grupo (BARROS et al., 1978). Até o momento, a análise histológica das gemas axilares constitui o método mais eficaz para avaliar a transição da fase vegetativa para a fase reprodutiva (MOENS, 1963; BARROS et al., 1978). Entre os fatores que podem estimular a indução floral podem ser destacados:

Relação C/N

O fato de que a alta relação carbono/nitrogênio (C/N) estimula o aparecimento de botões florais em diversas plantas levou vários autores a associá-las à indução floral do café (BARROS e MAESTRI, 1978). Moens (1962) encontrou correlação positiva entre a relação C/N das folhas e a diferenciação floral em *C. canephora* Pierre. Gopal e Raju (1978) estabeleceram uma correlação altamente significativa entre o número total de gemas florais e as reservas de carboidratos em ramos secundários e terciários. Rayner (1946) associou alto nível de carboidratos com a iniciação de gemas florais.

Fotoperíodo

Um dos fatores que tem sido correlacionado com a indução floral do cafeeiro é o fotoperíodo. Trabalhos clássicos de Piriger e Borthwich (1955) e Went (1957), com plantas jovens, mostraram que o cafeeiro é uma planta de dia curto, cujo fotoperíodo está em torno de 13-14 horas. Como nas regiões cafeeiras do globo o comprimento do dia não

excede esse limite, tem-se posto em dúvida o papel regulador do fotoperíodo na indução floral, pois é de se supor que as plantas estariam sempre sob condições indutivas.

Em Ruiru (1°8'S) Cannell (1971) submeteu plantas adultas de *Coffea arabica* L. em condições de campo a vários tratamentos fotoperiódicos: prolongamento de fotoperíodo (16 horas), fotoperíodos naturais (12 horas) e interrupções noturnas de 3 horas ou 15 minutos. Os cafeeiros tenderam a responder como plantas de dias curtos, mas como as diferenças quanto ao florescimento e crescimento vegetativo entre os controles e os demais tratamentos foram apenas quantitativas, o autor concluiu que as plantas adultas de *Coffea arabica* L. são pouco sensíveis ao fotoperíodo.

Como em várias regiões o cafeeiro emite botões florais na época seca e fria, acredita-se que esses dois fatores preparam a planta para responder à ação do fotoperíodo. Alguns estudos realizados em altas latitudes do hemisfério norte mostraram que a iniciação floral começa em fins de novembro, quando os dias mais curtos. Esses trabalhos, contudo, foram efetuados com plantas jovens que iniciavam a emissão de gemas florais pela primeira vez. Plantas novas de café mostram iniciação floral ainda que o fotoperíodo natural seja estendido artificialmente em três a quatro horas (MES, 1957; WENT, 1957). Nas regiões equatoriais, onde o fotoperíodo é “continuamente indutivo”, o florescimento pode ocorrer o ano inteiro. Apesar disso Trojer (1956) e Wormer e Gituanja (1970) identificaram períodos ótimos para diferenciação das gemas florais, associados ao período de seca (TROJER, 1956) e à ocorrência de temperaturas amenas (WORMER e GITUANJA, 1970).

Temperatura

Em estudos sob condições controladas e fotoperíodo indutivo de oito horas o maior número de gemas florais apareceu nas temperaturas mais altas (30°C dia/23°C noite), apesar do crescimento vegetativo ótimo ter ocorrido com 23°C durante o dia e 17°C durante a

noite. Baixas temperaturas, 17°C/12°C e 20°C/17°C, inibiram a iniciação floral. Em plantas de 13 meses de idade, as combinações ótimas foram 26°/23°C e 23°/17°C, enquanto que em algumas plantas de dois anos e meio a combinação que mais favoreceu a iniciação floral foi 23°/17°C (MES, 1957; WENT, 1957).

Gopal e Vasudeva (1973) sugeriram que na Índia a indução e diferenciação das gemas florais podem ser promovidas por baixas temperaturas. Em Cuba os períodos de rápida diferenciação de primórdios florais coincidiram com temperaturas amenas e umidade relativa inferior a 75% (SAM, 1980). Em duas regiões do Brasil (Viçosa e Campinas) e no Zimbábue (África), regiões cujas características climáticas guardam semelhança, a diferenciação das gemas reprodutivas se processa durante a estação seca e fria (BARROS et al., 1978; SONDHAL e SHARP, 1979).

Balanço hídrico

A diferenciação de gemas florais no cafeeiro, em Chinchiná, Colômbia, parece ser favorecida durante a época mais seca do ano (TROJER, 1956). Na Índia, o atraso de cerca de um mês na diferenciação das gemas florais em *Coffea arabica* coincidiu com o prolongamento das chuvas de monções (GOPAL e VASUDEVA, 1973). No sul e sudeste do Brasil a iniciação floral ocorre com a diminuição do período diurno e da temperatura, ao longo da estação seca. Na Costa Rica, que não possui um período de seca definido, a iniciação floral se dá durante qualquer período do ano. Wormer e Gituanja (1970) consideraram secundária a influência das precipitações nas áreas cafeeiras do Quênia, pois a formação de gemas florais foi intensa tanto em períodos secos como chuvosos. É possível, em resumo, que períodos secos estimulem a iniciação floral, mas não sejam críticos na fase indutiva.

Crescimento vegetativo

Geralmente durante a iniciação floral o crescimento vegetativo é mínimo, o que sugere uma competição entre os dois fenômenos. Wormer e Gituanja (1970) e Gómez (1977) observaram que o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo são eventos estreitamente relacionados. Moens (1962) deduziu que a época de máxima diferenciação floral é precedida de um período de crescimento vegetativo intenso. Em Chinchiná, a diferenciação floral ocorre em época de plena atividade vegetativa (TROJER, 1956). A ocorrência de períodos de máxima diferenciação floral parece depender da interação de dois fatores: 1) número de nós formados na estação de crescimento; 2) existência de condições ambientais (temperatura e/ou balanço hídrico e/ou fotoperíodo) favoráveis à diferenciação das gemas florais (MAJEROWICZ, 1984).

Produção

No cafeeiro a diferenciação de gemas florais tende a ser reduzida em anos em que a produção é elevada, ocasionando a diminuição da colheita no ano seguinte (JACKSON e SWEET, 1972). O efeito inibitório dos frutos sobre a diferenciação de gemas florais em *C. arabica* foi identificado por Wormer e Gituanja (1970). Plantas cujos frutos haviam sido removidos na fase de chumbinho demonstraram uma evidente aceleração do processo de diferenciação de gemas florais. Apesar disso, o padrão de florescimento não foi alterado, ou seja, a antese ocorreu na mesma época em todos os tratamentos. Jackson e Swett (1972) sugeriram duas explicações para a ocorrência da produção bienal: 1) a restrição da diferenciação de gemas florais, em anos de grande produção, seria consequência da competição por nutrientes e compostos orgânicos; 2) a presença de grande número de frutos promoveria um balanço hormonal desfavorável à diferenciação de gemas florais. A produção bienal em cafeeiros parece ser consequência da interação desses dois eventos. Produções

elevadas acarretam a redução do crescimento vegetativo, através da exaustão de reservas, restrição da atividade dos ápices em crescimento, redução da emissão de novos ramos laterais e diminuição da atividade do sistema radicial. Esses fatores limitam a quantidade de meristemas axilares disponíveis para a formação de inflorescências.

Relações hormonais

A aplicação do ácido giberélico (GA_3) tem efeito inibitório sobre a diferenciação de gemas florais na maioria das dicotiledôneas (JACKSON e SWEET, 1972; ZEEVAART, 1976). Esta propriedade foi explorada por Moss e Bevington (1977) para controlar a produção bienal em citrus.

Cannell (1971) empregou pulverizações de GA_3 para retardar a diferenciação de gemas florais em *Coffea arabica* e assim alterar o padrão sazonal nas regiões cafeeiras do Quênia. Comparativamente ao controle, as plantas tratadas com oito aplicações de 100 ppm de GA_3 apresentaram uma redução de 77% na primeira época de colheita e uma elevação de 91% na segunda colheita.

Kumar (1982) relatou a ocorrência de três tipos de anormalidades no florescimento de cafeeiros em dois anos consecutivos de chuvas torrenciais e bem distribuídas nas áreas de cafeicultura do Quênia. Em um dos casos, as plantas de uma região exibiram uma produção de flores equivalentes a apenas 10% de sua potencialidade total, apesar do aspecto vegetativo ter sido saudável. Os tecidos foliares dessas plantas revelaram uma atividade de giberelinas aproximadamente dez vezes superiores a das plantas com florescimento normal. As causas do elevado nível de giberelinas nas plantas anormais não puderam ser precisamente esclarecidas. Na área de ocorrência da anomalia o conteúdo de nitrogênio do solo estava ligeiramente acima do recomendável e segundo o autor a nutrição nitrogenada promove a síntese de giberelinas. Outros dois tipos de anomalias (gemas florais semi-secas e flores

rudimentares) foram observados em gemas florais presentes em inflorescências já formadas e em ambos os casos, atividades das giberelinas foram inferiores à das gemas florais normais.

Ao longo do processo de desenvolvimento reprodutivo, diferentes níveis de giberelinas são exigidos pela planta. A fase de diferenciação floral é favorecida por baixa concentração de giberelinas, enquanto que um nível intermediário é necessário para o desenvolvimento das gemas florais e um nível endógeno alto é indispensável para garantir a antese normal das gemas florais (KUMAR, 1982).

2.1.3.3 Dormência das gemas florais

A paralisação do crescimento das gemas florais após certa fase de desenvolvimento é um evento que ocorre em quase todas as regiões cafeeiras do mundo. De modo geral a etapa de repouso das gemas florais coincide com a estação seca do ano, estendendo-se até o término do déficit hídrico. Em condições naturais as primeiras chuvas estimulam o reinício do crescimento das gemas florais com drásticas alterações morfológicas, anatômicas e bioquímicas. A partir desse estágio as gemas passam a se expandir rapidamente, há um incremento do peso fresco e seco na ordem de 500% e 300%, respectivamente, até a abertura das flores 5 a 18 dias mais tarde. O tamanho atingido pelas gemas florais quando cessa seu crescimento varia entre cultivares, espécies e condições ambientais (BARROS et al., 1978). Frederico e Maestri (1970) em Viçosa, e Sondahl e Sharp (1979) em Campinas encontraram gemas florais dormentes de *C. arabica* medindo 4-6 mm. Na Índia, o comprimento observado foi de 7-9 mm (GOPAL e VASUDEVA, 1973).

Barros et al. (1978) sugeriram que as seguintes condições podem promover a quebra da dormência e o florescimento do cafeeiro: a) uma queda rápida da temperatura, isoladamente, quando o balanço hídrico das plantas não for crítico; b) chuvas abundantes ou irrigação após um longo período de seca; c) quedas bruscas de temperaturas e suprimento de

água, atuando complementarmente ou sinergisticamente. Além disso, tais condições ambientais atuam sobre fatores endógenos envolvidos na quebra da dormência como: liberação das giberelinas livres, redução da concentração de ácido abscísico (ABA) e intervenção de citocininas provenientes do sistema radicular (ALVIM, 1958; BROWNING, 1971, 1973; BARROS et al., 1978). Do ponto de vista prático, um maior ou menor período de dormência faz com que botões florais em diferentes estádios possam alcançar o mesmo grau de desenvolvimento e com isso estabelecer uma uniformização nas floradas.

2.1.3.4 Florescimento

Sob condições naturais os botões florais que entraram em dormência durante o período de seca, reiniciam seu crescimento tão logo ocorra uma chuva levando à abertura das flores um a três dias após. Normalmente as flores se abrem nas primeiras horas da manhã, começam a murchar no segundo dia e caem no terceiro dia. A flor do cafeeiro apresenta um cálice rudimentar formado por cinco pequenos segmentos. A corola é de coloração branca e constituída de cinco pétalas unidas entre si até a parte mediana, formando um tubo. A parte superior da corola se expande em um limbo formado por cinco segmentos lineares e obtusos. Os estames, em número de cinco, são epipétalos e consistem em um filamento cilíndrico e curto, inserido no setor mediano de uma antera bilocular sobre o tubo da corola. Uma antera em corte transversal exibe quatro sacos polínicos. O gineceu é representado por um ovário ínfero constituído de dois carpelos unidos. O ovário normalmente é bilocular e cada lóculo contém um óvulo anátropo (DEDECCA, 1957).

2.1.3.5 Frutificação

Depois da fertilização a corola se desprende do ovário, deixando o fruto aderido ao pedúnculo. Em sua primeira fase o fruto tem uma forma globular achatada no

ápice, mede aproximadamente 2 mm, possui uma pequena depressão central, é verde amarelado e se encontra protegido por brácteas.

O fruto do cafeeiro é uma drupa que normalmente contém duas sementes. Os frutos maduros têm pericarpo bem desenvolvido, podendo distinguir-se três regiões: exocarpo, mesocarpo e endocarpo. O exocarpo é representado por uma única camada de células correspondente à epiderme externa do ovário. O mesocarpo é uma região formada por mais de 20 camadas de células parenquimatosas ricas em tanino, açúcares, gomas e mucilagens, responsáveis pela consistência suculenta do fruto maduro. O endocarpo é constituído por cinco a sete camadas de células menores, que no fruto maduro formam o pergaminho da semente (DEDECCA, 1957).

O crescimento do fruto é variável, dependendo do genótipo e do ambiente. O crescimento em tamanho e matéria fresca segue um modelo de sigmóide dupla. Inicialmente apresenta um crescimento lento, de aproximadamente 6 a 8 semanas de duração, seguido de um período de expansão rápida, que se entende até a décima sétima semana, até o fruto verde atingir seu tamanho final (aproximadamente metade do tamanho do fruto maduro). Nesse ponto o crescimento virtualmente cessa por um longo período, até o início da maturação, quando se reinicia e o fruto aumenta rapidamente de tamanho. Diversos fatores podem afetar o crescimento do fruto, destacando-se água, temperatura, folhas, ramos laterais, nutrição e giberelina (CANNELL, 1971; SUÁREZ, 1979).

2.1.3.6 Maturação

A maturação é o processo no qual o fruto apresenta as características do final do ciclo reprodutivo como cor, textura, aroma, sabor, entre outros. Neste ocorrem transformações físicas, bioquímicas e fisiológicas determinantes para a qualidade e pós-colheita (RENA e MAESTRI, 1985). O pericarpo aumenta de volume e o endocarpo torna-se

mais denso pela deposição da matéria seca. A taxa de respiração eleva-se nesse período e atinge o máximo na 32ª semana, época aproximada do amadurecimento pleno, caindo a seguir. O tempo necessário para a completa maturação dos frutos varia com as condições climáticas (KUMAR, 1979) e em função da constituição genética do cafeeiro (SONDHAL e SHARP, 1979). Em Campinas (SONDAHL e SHARP, 1979) e em Chinchiná (GÓMEZ, 1977) os frutos do cafeeiro arábica amadureceram por volta da 32ª semana após a abertura das flores. A maturidade fisiológica dos frutos de *C. arabica* cv. Mundo Novo foi atingida 220 dias após o florescimento, nas condições de campo de Lavras-MG (CAIXETA, 2001). No cafeeiro a colheita é tradicionalmente determinada pela coloração dos frutos, que pode ser amarela ou vermelha, dependendo da variedade ou cultivar.

2.2 Sombreamento de cafeeiros

2.2.1 Considerações gerais

Segundo Nair (1989), Sistema Agroflorestal (SAF) é o uso de terra que envolve a permanência deliberada, introdução ou retenção de árvores ou outras culturas arbóreas de hábito perene ou semi-perene em associação com culturas agrícolas ou animais, com benefício mútuo resultante das interações ecológicas e econômicas. Para a cultura do café existem diversos tipos de exploração econômica em sistemas agroflorestais, sendo os mais comuns os cultivos arborizados e os protegidos por quebra-ventos. O uso desse sistema implica em alterações dos elementos formadores. Fernandes (1986), Beer (1987), Beer et al. (1998) e Muschler (1997) apresentaram algumas vantagens desta prática para os componentes do sistema:

- a) Cafeeiros: maior vigor vegetativo, maior longevidade, frutos maiores com maturação mais lenta, redução das diferenças do ciclo bienal da produção e bebida de melhor qualidade;

- b) Microclima: redução das temperaturas altas do ar e da folha, proteção contra geadas, aumento da umidade relativa do ar, diminuição dos efeitos nocivos dos ventos e do impacto direto da chuva;
- c) Solo: redução dos problemas de degradação do solo, estímulo da atividade biológica, aumento da fertilidade e matéria orgânica, redução da perda de água, estabilização da temperatura;
- d) Fatores externos (adversidades): redução na incidência de ervas daninhas, seca dos ponteiros, cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), antracnose (*Colletotrichum* spp.) e bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*);
- e) Sustentabilidade: fontes alternativas de renda - provenientes dos produtos das espécies arbóreas como frutos, raízes, folhas, flores, madeira, carvão e látex, baixa adoção de insumos e defensivos agrícolas;
- f) Meio ambiente: recuperação de áreas degradadas, refúgio para a biodiversidade animal, preservação de florestas, banco de estoque de carbono no solo e na vegetação, retirando o CO₂ da atmosfera.

Considerando uma arborização eficiente com espécies e práticas de manejo adequadas, pode-se citar como desvantagem do sistema:

- a) Dificuldades operacionais na colheita mecanizada;
- b) Aumento na incidência de broca do café (*Hypothenemus hampei*) e da ferrugem do cafeeiro (*Hemilea vastratix*) em cultivares suscetíveis;
- c) Necessidade de mão de obra adicional para o manejo das árvores.

2.2.2 Aspectos climatológicos

Em sistemas arborizados, onde as diferentes espécies compartilham o mesmo espaço, a função heterogênea dos componentes do sistema afeta o ambiente físico, produzindo modificações microclimáticas como:

- interceptação da radiação (fator determinante para a produção da biomassa);
- modificação do tipo de radiação que chega às plantas, aumentando a parcela da luz difusa;
- modificações na temperatura (determinante para o crescimento e desenvolvimento vegetal);
- alteração da umidade relativa (modificações na transpiração);
- interceptação da chuva (interfere na disponibilidade hídrica);
- alteração do regime do vento (causa danos mecânicos e afeta a taxa de transpiração e fluxo de CO₂).

A radiação solar no interior da comunidade vegetal é o primeiro elemento meteorológico a ser modificado com o sombreamento de uma cultura; o dossel das árvores sombreadoras intercepta grande parte da radiação incidente, predominando sob suas copas radiação difusa (VANDENBELDT e WILLIAMS, 1992).

Pezzopane et al. (2003b) analisando a interceptação de radiação solar global em consórcio de café com coqueiro anão verde, verificaram que ao longo do ano a interceptação de radiação foi de 42% no cultivo consorciado. Em cafezal consorciado com guandu (*Cajanus cajan*) Moraes et al. (2006) obtiveram interceptação de radiação solar global média de 87%, no período de maio a junho. Pezzopane (2004) em cultivo consorciado de café com banana, obteve atenuação média de 21% da radiação solar global.

Como a radiação na faixa do visível (Radiação Fotossinteticamente Ativa), que é essencial à produção, é muito absorvida pela cobertura vegetal, pode haver decréscimo no potencial produtivo. Por outro lado cultivos arborizados impedem que excesso de radiação solar e estresse térmico prejudique os cafeeiros.

Nos sistemas sombreados, a temperatura do ar depende do tipo de cobertura e da densidade do sombreamento. De modo geral o sombreamento atenua a temperatura máxima diurna e evita a queda acentuada da temperatura noturna.

Temperaturas muito altas ou baixas são prejudiciais aos cafeeiros. Estima-se que a temperatura acima de 27°C acelera o crescimento vegetativo e limita a floração e frutificação de cafeeiros e temperaturas baixas (média do mês mais frio entre 16°C e 13°C) paralisam o crescimento (KUMAR e TIESZEN, 1980). A temperatura alta da folha altera o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos e diminui a atividade fotossintética (KUMAR e TIESZEN, 1980). Outros prejuízos causados pelas altas temperaturas são inibições da translocação de fósforo para as raízes, seus acúmulos na parte aérea e a redução da capacidade foliar de fixar gás carbônico e de translocar fotoassimilados para os outros órgãos da planta, notadamente, às raízes (MAGALHÃES, 1975).

Gómez e Jaramillo (1974) trabalhando com cafeeiro arborizado encontraram diferença de até 10°C entre a temperatura de uma folha sombreada e outra exposta ao sol e os valores médios da temperatura do ar nos cafeeiros a pleno sol foi 3 a 5°C mais elevados durante o dia e 1 a 2°C menor durante a noite. No México cafeeiros sob *Inga jinicuil* (205 árvores/ha) tiveram a média da temperatura máxima reduzida em 5,4°C, enquanto que a média da temperatura mínima teve um acréscimo de 1,5°C em comparação com cafeeiros a pleno sol (BARRADAS e FANJUL, 1986).

Dentre os fatores climáticos que limitam a produção cafeeira no sul e sudeste brasileiro destacam-se as baixas temperaturas. Plantas expostas a temperaturas

críticas, mesmo acima do ponto de congelamento, podem sofrer danos foliares letais, dependendo da idade dos tecidos, condição nutricional, aclimatação e tempo de exposição (LEVITT, 1980; BAUER et al., 1985; BODNER e LARCHER, 1987). No momento em que ocorre a queda da temperatura abaixo do ponto de congelamento há a condensação do orvalho e formação de gelo sobre as plantas, ocorrendo o fenômeno da geada. Para o cafeeiro diversos estudos mostram que quedas instantâneas de temperaturas entre -3°C e -4°C são letais para o tecido foliar (CAMARGO e SALATI, 1967; FERRAZ, 1968; MORAIS et al., 2004).

Diversas estratégias preventivas têm sido utilizadas buscando minimizar os efeitos de geadas, incluindo a escolha do local, uso de cultivares de maturação precoce e chegamento de terra junto ao tronco dos cafeeiros durante o inverno (CARAMORI e CHAVES, 1984). Entretanto nenhuma dessas medidas é eficiente para eliminar os danos causados por geadas severas. Métodos de defesa direta como o uso de nebulização (GODOY, 1977), irrigação ou aquecimento são limitados pelas dificuldades de utilização prática ou por fatores econômicos em áreas extensivas.

O uso de arborização em cafeeiros é uma das práticas que vem sendo recomendada para minimizar danos causados pelas geadas. As árvores exercem proteção dos cafeeiros contra as geadas através da redução da perda de radiação eletromagnética de ondas longas emitidas pelas plantas e superfície do solo, que são interceptadas pelas copas mais altas, re-emitidas e refletidas, mantendo o ambiente mais aquecido. O plantio intercalar de espécies anuais e perenes, de hábito de crescimento herbáceo, arbustivo e arbóreo visando proteção de cafeeiros contra geadas, vem sendo investigado nos últimos 25 anos no Estado do Paraná. Comprovou-se a eficiência desses sistemas para proteção contra geadas de diferentes intensidades, dependendo da espécie e forma de manejo. Caramori et al. (1987) observaram temperaturas mínimas do ar cerca de 2°C mais elevadas em cafeeiros arborizados com *Leucena leucocephala*, em noites típicas de ocorrência de geadas de radiação. Em estudos

com a espécie *Mimosa scabrella* (bracatinga), durante noites de geadas, Caramori et al. (1996) registraram temperaturas mínimas de folha entre 2°C a 4°C mais elevadas em cafeeiros a céu aberto. Caramori et al. (1999) em estudos de métodos de proteção contra geadas em lavoura recém-plantada, encontram um acréscimo de 5,5°C na temperatura de folhas de cafeeiros arborizados com guandu, indicando esta espécie com grande potencial para minimizar os impactos de geadas severas em plantações cafeeiras no primeiro ano de cultivo. Morais et al. (2006) e Leal (2004) em estudos com sistema arborizado temporário e permanente, respectivamente, no município de Londrina, encontraram valores significativos na redução da temperatura diurna e aumento da temperatura noturna em folhas de cafeeiros sombreados, comparativamente ao cultivo a pleno sol. No sudeste do Brasil, Pezzopane et al. (2003b) observaram que a temperatura mínima do ar permanece até 1°C mais elevada em cafeeiros consorciados com coqueiro anão. Matiello et al. (1994) observaram, após a ocorrência de geada, proteção total dos cafeeiros arborizados com *Grevilea robusta*.

2.2.3 Aspectos fisiológicos

O cafeeiro apresenta adaptações morfofisiológicas durante seu desenvolvimento em função da quantidade e da qualidade da radiação local dominante.

Com relação à capacidade fotossintética, pesquisas desenvolvidas por Nunes et al. (1968) mostraram que a fotossíntese diminui com o aumento da temperatura acima de 24°C, aproximando-se de zero a 34°C. Nutman (1937) demonstrou que uma folha de café fotossintetiza muito menos quando exposta à plena luz solar, devido à menor intensidade de luz difusa. Observou também maior atividade fotossintética no início da manhã, à tarde e em dias nublados e que durante as horas de maior intensidade luminosa os estômatos se fecham. Essas informações foram confirmadas na Costa Rica por Alvim e Hovis (1954) e no Brasil, por Franco (1938).

A espécie *Coffea arabica* é originalmente adaptada à sombra, embora no Brasil a maioria das plantações seja conduzida a pleno sol. Kumar e Tieszen (1980) compararam as taxas fotossintéticas de cafeeiros crescidos à sombra e a plena luz e observaram que a irradiância saturante foi de $300 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ nas plantas sob sombra e $600 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ nas plantas ao sol, contudo, as plantas sombreadas apresentaram taxas fotossintéticas maiores. Quando a temperatura foi mantida constante a 25°C não se observou redução da fotossíntese, mesmo a $1200 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Esses autores não observaram grandes variações na condutância estomática entre 25 e 35°C , embora a fotossíntese líquida tenha decrescido muito nesse intervalo de temperatura. Assim, os pesquisadores concluíram que o cafeeiro é mais adaptado a plantios adensados, onde o sombreamento mútuo proporciona baixas intensidades luminosas e baixas temperaturas foliares, condições ideais para a fotossíntese e crescimento mais eficiente.

Em estudos desenvolvidos por Paiva e Guimarães (2001) com mudas de cafeeiros cultivadas sob malhas de sombrites de diferentes densidades (0%, 30%, 50% e 90%) foram obtidas maiores taxas de fotossíntese líquida sob 50% de sombreamento.

Freitas et al. (2000) estudando o efeito de intensidades luminosas (30%, 50%, 70% e 100%) com sombreamento artificial de malhas de sombrite, observou maior taxa fotossintética e menor temperatura foliar nas plantas submetidas a 70% de sombreamento e concluiu que a temperatura mais elevada nas folhas a pleno sol, em torno de 45°C , pode ter sido a causa da menor taxa fotossintética nessas plantas. A condutância estomática e a transpiração foram inversamente proporcionais à densidade de sombreamento.

Sombreamentos excessivos podem reduzir a fotossíntese do cafeeiro. Carelli et al. (1999) em trabalho com sombreamento artificial com malhas de sombrite, não observaram redução na taxa fotossintética em cafeeiros com 50% de sombreamento comparados aos cultivados a pleno sol; no entanto, com 80% de sombreamento a fotossíntese

decreceu significativamente. Cafeeiros densamente sombreados com guandu (*Cajanus cajan*) apresentaram decréscimo na taxa fotossintética e na transpiração (MORAIS et al., 2003).

A captura de energia pela planta não depende somente da resposta fotossintética de folhas individuais, mas também de sua integração na copa e manutenção de sua capacidade fotossintética como um todo (GIVINISH, 1988). Considerando a planta de café espera-se que sua fotossíntese global aumente a pleno sol, na medida em que as folhas internas contribuam mais expressivamente para a assimilação de carbono. Em cultivos arborizados normalmente a folhagem externa encontra-se sob condições ideais para a fotossíntese, no entanto as folhas internas, devido ao autosombreamento da planta, recebem radiação fotossinteticamente ativa aquém do necessário para saturar o aparelho fotossintético. Os autores acrescentam que em condições estressantes - cafezais a pleno sol em maiores espaçamentos - a nutrição adequada, sobretudo nitrogenada, é fundamental para compensar as diferenças de fotossíntese entre folhagem interna e externa. Provavelmente esse é um dos motivos do sombreamento resultar em maiores benefícios a cafeeiros cultivados em áreas sub-ótimas (DaMATTA e RENA, 2002; DaMATTA, 2004).

Em resumo, a temperatura, a luminosidade e a nutrição são fatores importantes para a regulação da fotossíntese nos cafeeiros, os quais interagem para definir um nível ótimo de condições ambientais propícias para o processo fisiológico, sendo que sua ação também depende do estado hídrico da planta.

A tensão hídrica pode afetar a fotossíntese de várias formas, provocando fechamento dos estômatos, aumento da resistência estomática e diminuição da atividade enzimática e acúmulo de amido nas células do mesofilo (FOURNIER, 1988). Na medida em que ocorrem alterações no microclima da lavoura, os cultivos consorciados parecem promover menores perdas de água pela transpiração. Segundo Sá (1994) os sistemas agroflorestais proporcionam grande melhoria no uso de água no solo, principalmente em

regiões com disponibilidade sazonal. Miguel et al. (1995) e Matsumoto et al. (2000) em trabalhos realizados com cafezais arborizados com grevilea em Varginha, MG e sudoeste da Bahia, respectivamente, verificaram o aumento da disponibilidade hídrica nas camadas superficiais do solo, após longos períodos secos. Resultados expressos por Morais et al. (2006) mostraram que a umidade do solo em cafeeiros arborizado com guandu (*Cajanus cajan*) foi ligeiramente superior à do ambiente a pleno sol na camada superficial de 0–10 cm, devido ao “mulching” e à cobertura vegetal que contribuíram para diminuir a evaporação. Existem ainda outros trabalhos sobre a redução da evapotranspiração em cultivos de cafezais arborizados, como os apresentados por Jimenez e Golberg (1982) e Bastias et al. (1999), citados por DaMatta e Rena (2002) e Gopal et al. (1970) em revisão sobre sistemas de produção de café sob arborização na Índia.

2.2.4 Sombreamento e os componentes da produção

Castillo e López (1966) mostraram que o número de nós com flores, o número de glomérulos por nó e o número de botões florais por glomérulo aumentam com o incremento da intensidade luminosa. Essa diferença pode ser atribuída a uma razão C/N provavelmente mais alta ao sol, enquanto o efeito inibidor do sombreamento na formação de gemas florais pode ser devido ao maior nível de giberelinas à sombra, como sugere Kumar (1979).

Castillo e López (1966) e Jaramillo e Valencia (1980) observaram poucas flores em cafeeiros sombreados quando comparados com cafeeiros a pleno sol. Montoya et al. (1961) e Castillo e López (1966) encontraram aumentos significativos no número de nós por ramos e flores por nós em cafeeiros a pleno sol. Montoya et al. (1961) também observaram uma correlação significativa entre o aumento do número de nós por ramos e a produção por ramo no ano seguinte. Cannell (1975) relatou que o mais importante componente da produção

é o número de nós formados e esta variável juntamente com o número de frutos presentes em cada nó, são intensamente afetadas pelo nível de luminosidade.

Morais et al. (2003) e Ricci et al. (2006) observaram um menor número de ramos e nós produtivos em cafeeiros arborizados. Campanha et al. (2004), avaliando cafeeiros em monocultivo e em SAF, verificaram menor número de nós produtivos, botões florais, retenção de frutos e produtividade nas plantas sob sombreamento, atribuindo o fato à grande densidade de árvores no sistema que promoveu uma baixa disponibilidade de radiação aos cafeeiros.

Estudos mostram que a arborização do cafezal alonga o período de maturação dos frutos fazendo com que o café se mantenha mais tempo no estado de cereja (MORAIS et al., 2006; RICCI et al., 2006; CAMPANHA et al., 2004). A maturação mais lenta tende a produzir frutos de melhor qualidade, uma vez que há maior acúmulo de açúcares e sólidos solúveis, formando frutos maiores e com melhores características físicas e sensoriais (SALAZAR et al., 2000). Na Guatemala, Honduras e Costa Rica têm-se verificado que o sombreamento garante a melhor qualidade do café em termos de composição bioquímica como: ácido clorogênico, acidez total e sacarose (AVELINO et al., 2001; GUYOT et al., 1996; MUSCHLER, 1998; VAAST et al., 2002, citado por VAAST e HARMAND, 2002). Lunz (2006) também obteve melhor qualidade de bebida em cafeeiros sombreados com seringueira, quando comparado com cafeeiros cultivados a pleno sol.

2.2.5 Produção

Um dos pontos mais polêmicos na arborização de cafezais é seu efeito na produção. As divergências ocorrem porque o efeito depende de vários fatores, tais como condições locais de clima e solo, genótipo do cafeeiro, espécie utilizada, espaçamento, arranjo e densidade de sombra. Assim, existem trabalhos realizados em diferentes regiões do mundo

que demonstram existir aumento, decréscimo ou equidade na produção com a utilização da arborização.

De maneira geral, em condições climáticas favoráveis para o cultivo de café, com utilização intensiva de insumos como irrigação, adubação e defensivos agrícolas, plantios de café a pleno sol produzem mais que cultivos arborizados. Ao contrário, em regiões marginais para a cafeicultura, como em locais de baixas altitudes, solos pobres e pronunciado déficit hídrico e estresse térmico, maiores benefícios serão obtidos com o uso da arborização (MUSCHLER, 1997 e BEER et al., 1998).

A esse exemplo, no Brasil, resultados dos trabalhos de Matiello et al. (1989), Dantas et al. (1990), Matiello e Fernandes (1989), Batistela Sobrinho et al. (1987) e Camargo (1990) em regiões quentes, secas e de solos pobres, mostraram efeitos positivos da arborização na produção de café. Nestes casos, a técnica da arborização reduziu as adversidades do clima e do solo, permitindo maior sustentabilidade da cafeicultura.

Fahl e Carelli (2004), conduzindo experimentos com espécies arbóreas, demonstraram que o sombreamento moderado, 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 em consórcio com grevilea até densidade de 71 árvores por hectare. No México, Soto-Pinto et al. (2000) não observaram redução na produtividade de café até um limite de 50% de sombreamento. Freitas et al. (2000) não verificou diferença na produção de cafeeiros em monocultivo e arborizados com seringueira a cada cinco filas de cafeeiros, no entanto sob maior densidade de sombreamento (três filas de cafeeiros entre os renques de seringueira) a produção decresceu. Moraes et al. (2006) observaram que o sombreamento excessivo, com interceptação de até 87% da radiação global e 79% da radiação fotossinteticamente ativa, tem

efeito negativo sobre a produção de café. Lagemann e Heuvelop (1983) também verificaram que sombreamentos acima de 70% decrescem a produção de café.

Os Sistemas Agroflorestais devem ser avaliados como um todo, pois a baixa produtividade de cafeeiros sob sombreamento pode ser compensada pelo menor investimento em insumos, maior estabilidade de produção, menores riscos de perdas com geadas, fornecimento de outros produtos oriundos dos demais componentes do sistema, melhoria da qualidade do café e maior conservação ambiental, resultando em renda estável ao produtor.

2.2.6 Manejo

A utilização de árvores associadas a cafeeiros é uma prática antiga e comum em países da América Latina como El Salvador, Colômbia, Venezuela, Panamá, Costa Rica e México. No Brasil, embora haja predomínio do cultivo de cafeeiro a pleno sol, a utilização do cultivo arborizado tem aumentado (BAGGIO et al., 1997), devido às vantagens do sistema e o incremento de pesquisas. Todavia, ainda é uma técnica controversa, sendo que sua utilização pode variar de acordo com as condições ecológicas, tradição local e o nível de manejo da lavoura (DaMATTA e RENA, 2002).

Vários aspectos de manejo ainda devem ser estudados para que o sistema seja ecologicamente sustentável e economicamente viável, como: espécies de árvores e arbustos a serem utilizadas; densidade, arranjo e época de sombreamento; cultivares de cafeeiros mais adaptados à sombra; espaçamento dos cafeeiros; tipo e época de poda das árvores e arbustos, características ambientais da região e objetivos do sombreamento e da produção.

Apesar de incipiente existem alguns estudos sobre manejo de densidade de sombreamento, espécie e condições locais. Dependendo das condições agroecológicas o máximo de sombreamento recomendado para cafeeiros é de 70% (BEER, 1987; KUMAR e

TIESZEN, 1980; MUSCHLER, 1997). Nas condições de cultivo de café no Brasil a experiência tem demonstrado que em regiões sub-tropicais, como São Paulo e estados vizinhos, a densidade da arborização permanente deve atenuar cerca de 20% da incidência da radiação solar e no nordeste a arborização deve ser mais densa, em torno e 50% (Camargo, 1990).

Dentre as espécies que estão sendo utilizadas para arborização de cafeeiros no Brasil, a grevilea (*Grevillea robusta*) e a seringueira apresentam características favoráveis (MATIELLO e ALMEIDA, 1991; BAGGIO et al., 1997; Pereira et al., 1998). Além dessas, frutíferas como o coqueiro-anão, a pupunha e a bananeira possuem alto valor de mercado e boas características para arborização (CAMARGO e SANTINATO, 1989; MATIELLO et al., 2001). Outro tipo de arborização que tem mostrado resultados satisfatórios para proteção contra geada e desenvolvimento de cafeeiros recém implantados é a consorciação temporária com guandu (*Cajanus Cajan*) (CARAMORI et al., 1999). A bracinga (*Mimosa scabrella*) é uma opção para as áreas mais frias localizadas no limite sul de aptidão da cafeicultura (LEAL, 2004).

As condições locais também são proponderantes para se definir a melhor forma de sombreamento. Carvajal (1984) afirma que em solos pesados, de baixa fertilidade e em regiões de baixa latitude, com reduzida umidade relativa e altitudes elevadas, como zonas cafeicultoras na Costa Rica, o uso de sombra regulada que intercepte 40% da intensidade luminosa é mais aconselhável que o cultivo a pleno sol.

Neste estudo serão abordados aspectos fenológicos, climáticos, fisiológicos e produtivos de cafeeiros sob práticas de manejo de épocas de sombreamento. Foram utilizadas coberturas de malhas de sombrite com 50% de porosidade, com a finalidade de simular as condições de competição por luz verificadas nos SAF. Este material sombreante possui as seguintes vantagens: a) isolamento do fator luz para estudar a competição; b)

resultados rápidos, visto que as árvores demandam um longo tempo para se desenvolverem; c) possibilidade de simular sombras em épocas específicas do desenvolvimento do cafeeiro; d) sombreamento uniforme; e) exatidão na densidade de sombreamento desejada; f) não há competição por água e nutrientes como nos SAF. Como desvantagens observam-se: a) transmissividade de luz diferente das árvores e arbustos (qualidade, cor, faixas espectrais); b) quando comparado com os SAF, tende a ter maior evaporação e menor fertilidade dos solos, pois não há deposição de matéria orgânica.

Referências

ALEGRE, G. Climats et caféiers d'Arabie. **Agronomie Tropicale**, Paris, v.14, n.1, p.23-58. 1959.

ALVIM, P. T. Recientes progresos en nuestro conocimiento del árbol de café. **Coffee & Tea Industries**, New York, v.81, n.11, p.56-70, 1958.

ALVIM, P. T.; HOVIS, R. An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. **Plant Physiology**, Rockville, n.29, p.97-98, 1954.

BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOFI FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n.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, n.38, p.101-112, 1986.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee: a review. **Journal of Coffee Research**, Chikmagalur, v.8, n.2-3, p.29-73, 1978.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, Varanasi, v.36, n.1, p.1-19, 1995.

BATISTELA SOBRINHO, I.; MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A. E. Comportamento de cafeeiros Conilon, Mundo Novo e Catuaí, plantados em mata natural e a pleno sol em Sinop-MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas, **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1987. p.185-186.

BAUER, H.; WIERER, R.; HATHEWAY, W. H.; LARCHER, W. Photosynthesis of *Coffea arabica* after chilling. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.64, p.449-454, 1985.

BEER, J. W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.5, p.3-13, 1987.

BEER, J. W.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.38, p.139-164, 1998.

BODNER, M.; LARCHER, W. Chilling susceptibility of different organs and tissues of *Saintpaulia ionantha* and *Coffea arabica*. **Botany**, Berlin, v.61, p.225-242, 1987.

BROWNING, G. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I. Studies of gibberellin in flower buds and xylem sap and abscise acid in flower in relation to dormancy release. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, n.48, p.29-41, 1973.

BROWNING, G. **The hormonal regulation of flowering and cropping in *Coffea arabica* L.** 1971. Thesis (.Ph.D) - University of Bristol, London.

CAIXETA, G. Z. T. Gerenciamento da cafeicultura em época de crise. Viçosa: UFV, 2001. p. 1-24.

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

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

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; SALATI, E. Determinación de la temperatura letal para hojas de café en noches de heladas. **Café**, Lima, v.3, n.8, p.12-15, 1967.

CAMARGO, A. P.; SANTINATO, R. Efeitos de concorrência de diferentes espécies arbóreas e arbustivas, como quebra-vento, na formação do cafezal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1989. p.205-207. Parte II

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; 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, Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.63, p.75-82, 2004.

CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: A review. **Journal of Coffee Research**, Chikmagalur, v.5, n.1/2, p.7-20, 1975.

CANNELL, M. G. R. Effect of the presence of fruits on net photosynthesis. **Annual Report Coffee Research Station**, Ruiru, 1971, p. 41-42.

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

CARAMORI, P. H.; CHAVES, J. C. D. Proteção de cafeeiros jovens contra os efeitos das geadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.19, v.6, p.665-668, 1984.

CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.195-200, 1999.

CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J.; COSTA, A. C. S.; MARUR, C. J.; SEREIA, V. J. Arborização de cafeeiros com *Leucena leucocephala* para proteção contra geadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1987, Belém, **Anais...**, Belém: CPATU, 1987. p.337-339.

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

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

CARVALHO, A. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arabica*. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds). **Coffee: agronomy**. London: Elsevier, 1988. p.129-165.

CASTILLO, Z. J.; LÓPEZ, A. R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. **Cenicafé**, Chichiná, n.17, p.51-60, 1966.

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

Da MATTA, 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, 2002. Cap. 3, p.93-136.

DANTAS, F. S.; MATIELLO, J. B.; CAMARGO, A. P. Arborização do cafeeiro com *Grevilea robusta* na região serrana de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1990. p.130-131.

DEDECCA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. variedade Typica Cramer. **Bragantia**, Campinas, v.16, n.23, p.315-36, 1957.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. **Sombreamento na fisiologia e produtividade do cafeeiro**. News Cafeicultura, Patrocínio, 03/09/2004. Disponível em: <<http://www.newscafeicultura.com.br/noticias.htm>>. Acesso em: 15 set. 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.). **Journal of Horticultural Science**, London, v.69, n.1, p.161-169, 1994.

FERNANDES, D. R. **Manejo do cafeeiro no Brasil**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1986.

- FERRAZ, E. C. **Estudo sobre o momento em que a geada danifica as folhas do cafeeiro**. 1968. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FOURNIER, L. A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol e la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. **Agronomía Costarricense**, Costa Rica, v.12, n.1, p.131-146, 1988.
- FRANCO, C. M. Descoloração em folhas de cafeeiro causado pelo frio. **Bragantia**, Campinas, v.15, n.13, p.131-135, 1956.
- FRANCO, C. M. Estrangulamento do caule do cafeeiro causado pelo frio. **Bragantia**, Campinas, n.19, p.515-521, 1960.
- FRANCO, C. M. Sobre a fisiologia dos estômatos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) **La Reunión S.A. Botánica**, Rio de Janeiro, n.3, p.293-302, 1938.
- FREDERICO, D.; MAESTRI, M. Ciclo de crescimento dos botões florais de café (*Coffea arabica* L). **Revista Ceres**, Viçosa, v.17, n.92, p.171-181, 1970.
- FREITAS, R. B.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M.; DELU FILHO, N. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26., 2000, Marília. **Resumos...** Marília: MA/Procafé, 2000. p.160-161.
- GIVINISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.15, p.63-92, 1988.
- GODOY, H. **Recomendações técnicas no combate ao fenômeno da geada no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1977. (Circular Técnica, 4)
- GÓMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, v.28, n.1, p.3-17, 1977.
- GÓMEZ, G. L.; JARAMILLO, A. Temperaturas em árvores de café al sol. **Cenicafé**, Chinchina, n.25, p.61-62, 1974.
- GOPAL, N. H.; RAMAIAH, P. K.; NARASIMHASWAMY, R. L. Shade for Arabica Coffee in India. **Indian Coffee**, Bangalore, v.34, p.265-267, 1970
- GOPAL, N. H.; RAJU, K. I. Physiological studies on flowering in coffee under South Indian conditions. VIII- Number of flower buds in relation to wood starch of cropping branches. **Turrialba**, San Jose, v.28, n.4, p.311-313, 1978.
- GOPAL, N. H.; VASUDEVA, N. Physiological studies of flowering in arabica coffee under south Indian conditions. **Turrialba**, San Jose, v.23, n.2, p.146-153, 1973.
- JACKSON, D. I.; SWEET, G. B. Flower initiation in temperate woody plants. **Horticultural Abstracts**, Farnham Royal, v.42, p.9-24, 1972.
- JARAMILLO, A.; VALENCIA G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L. en Chinchina. **Cenicafe**, Chinchina, n.31, p.127-143, 1980.

KUMAR, D. CCC (Chloro-Chlorine-Chloride) and B9 (dimethyl amino-succinic acid) on coffee production. **Coffee Research Station**, Tuiru, p.108-109, 1977.

KUMAR, D. Primary investigations into some flowering abnormalities of coffee in Kenya. **Kenya Coffee**, Nairobi, n.47, p.16-24, 1982.

KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. A review. **Kenya Coffee**, Nairobi, n.44, p.9-47, 1979.

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

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

LAGEMANN, J.; HEUVELDOP, J. Characterization and evaluation of agroforestry systems: the case of Acosta-Puriscal, Costa Rica **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n.1, p.101-115, 1983.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**: chilling, freezing and high temperature stresses. New York: Academic Press, 1980.

LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MAGALHÃES, A. C. N. Efeito da temperatura elevada no sistema radicular sobre os processos de translocação em cafeeiros. **Ciência e Cultura**, São Paulo, n.27, p.1224-1227, 1975.

MAJEROWICZ, N. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de *Coffea arabica* L.: observações sobre a antese e maturação dos frutos**. 1984. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Sistemas de combinação de café com seringueira no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 17., 1991, Varginha. **Anais...** Rio de Janeiro: MARA/SNPA/EMBRAPA, 1991. p.112-114.

MATIELLO, J. B.; BARRO, U. V.; GARÇON, C. Arborização de cafeeiros com bananeiras na região de altitude elevada na cafeicultura de montanha – Resultados iniciais na produção e sobre *Phoma*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Anais...** Rio de Janeiro: PROCAFE, 2001. p.21-22.

MATIELLO, J. B.; FERNANDES, D. R. Observações sobre arborização de cafezais em regiões de Chapada, na Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1989. p.238-240.

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 CAFEIRAS, 20., 1994, Guarapari. **Anais...** Guarapari: MARA/Procafé, 1994. p.4-5.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002.

MATSUMOTO, S. N.; FARIA, G. O.; VIANA, A. E. S.; PINTO, F. R. S. Estudo do sombreamento de grevilea em cafezais no sudoeste da Bahia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos...** Brasília: EMBRAPA, 2000. p.1010-1013.

MES, M. G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, Lisboa, n.5, p.25-44, 1957.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. R.; GUIMARÃES, E. S. Efeitos da arborização de cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e na umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., 1995, Caxambu. **Anais...** Caxambu: MARA/Procafé, 1995. p.55-57.

MOENS, P. **Étude écologique du développement génératif et végétatif des bourgeons de Coffea canephora Pierre**. Institut National pour l'étude Agronomique du Congo (INEAC), 103p. Serie Scientifique 96, 1962.

MOENS, P. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. **Turrialba**, San Jose, n.18, p.209-233, 1968.

MOENS, P. Les bourgeons végétatifs et génératifs de *Coffea canephora* Pierre. **La cellule**, Louvain, v.63, n.2, p.165-244, 1963.

MONTOYA, L. A.; SYLVAIN, P. G.; UMANA R. Effect of light intensity and nitrogen fertilization upon growth differentiation balance in *Coffea arabica* L. **Coffee**, Turrialba, n.3, p.97-108, 1961.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUSHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.763-770, 2006.

MORAIS, H.; CARNEIRO FILHO, F.; CARAMORI, P. H.; MARIOT, E. J.; RIBEIRO, A. M. A. Avaliação de recipientes e coberturas de mudas de cafeeiros para proteção contra baixas temperaturas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.4, p.401-407, 2004.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.

MOSS, G. I.; BEVINGTON, K. B. The use of gibberellic acid to control alternate cropping of Late Valencia Sweet Orange. **Australian Journal Agricultural Research**, Victoria, n.28, p.1041-1054, 1977.

MUSCHLER, R. G. Shade or sun for ecologically sustainable coffee production: a summary of environmental key factors. In: SEMANA CIENTÍFICA DEL CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE), 1997, Turrialba. **Resumos...** Turrialba: CATIE, 1997. p. 109-112.

- NAIR, P. K. R. **Agroforestry systems in the tropics**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989.
- NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v.17, p.93-102, 1968.
- NUNES, M. A.; RAMALHO, J. D. C.; DIAS, M. A. Effects of light and photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.44, n.262, p.893-899, 1993.
- NUTMAN, F. J. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. **Annals of Botany**, London, v.1, n.3, p.353-367, 1937.
- PAIVA, L. C.; GUIMARÃES, R. J. Efeitos dos níveis de irradiância sobre a anatomia foliar de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Resumos...** Uberaba: MA/Procafé, 2001. p.110-112.
- PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; FIALHO, J. F.; JUNQUEIRA, N. T. V.; MACEDO, R. L. G.; GUIMARÃES, F. J. **Sistemas agroflorestais de seringueira com cafeeiro**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. (Documentos, 70).
- PEZZOPANE, J. R. M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'**. 2004. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.499-505, 2003a.
- 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, 2003b.
- PIRINGER, A. A.; BORTHWICK, H. A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, San Jose, v.5, n.3, p.72-77, 1955.
- RAYNER, R. W. Growth and bearing habits of *Coffea Arabica* L. in Kenya and Southern India. **East African Agricultural and Forestry Journal**, n.11, p.251-255, 1946.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, p.26-40, 1985.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.569-575, 2006.
- SÁ, T. D. A. Aspectos climáticos associados a sistemas agroflorestais: implicações no planejamento e manejo em regiões tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto velho. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, 1994. p.391-431.

- 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 Américas**, Turrialba, v.7, n.26, p.40-42, 2000.
- SAM, O. Crecimiento de yemas asilares de *Coffea arabica*, variedad Caturra en plantas cultivadas a plena exposición solar. **Café y Cacao**, v.2, n.2, p.48-54, 1980.
- SONDAHL, M. R.; SHARP, W. R. Research in *Coffea spp* and applications of tissue culture methods. In: PADDOCK; E. F.; RAGHAVAN, E. V. (Eds). **Plant cell and tissue culture: principles and applications**. Columbus: Ohio State University Press, 1979. p.527-584.
- SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNANDEZ, J.; CABALLERO NETO, J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.80, p.61-69, 2000.
- SUAREZ S. J. V. Influencia de la precipitación en el crecimiento del fruto de café. **Avances Técnicos Cenicafé**, n.89, p.1-4, 1979.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.
- TROJER, H. La investigación agroclimatológica para el cultivo del café en Colombia. **Boletín Informativo del CENICAFÉ**, Chinchina, v.7, n.75, p.78-101, 1956
- VAAST, P.; HARMAND, J. M. The importance of agroforestry systems for coffee production in Central America and Mexico. **Recherche et caféiculture**, Paris, mai, p.41-43, 2002.
- VANDENBELDT, R. J.; WILLIAMS, J. H. The effect of soil surface temperature on the growth of millet in relation to the effect of *Faidherbia albida* trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n.60, p.93-100, 1992.
- WENT, F. W. **The experimental control of plant growth**. Waltham: Chronic botanical, 1957.
- WILLEY, R. W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. **Horticultural Abstract**, Farnham Royal, n.45, p.791-798, 1975.
- WORMER, T. M.; GITUANJA, J. Floral initiation and flowering of *Coffea arabica* L. in Kenya. **Experimental Agriculture**, Cambridge, n.6, p.157-170, 1970.
- WRIGLEY, G. **Coffee**. New York: Longman Scientific e Technical, 1988.
- ZEEVAART, J. A. D. Physiology of flower formation. **Plant Physiology**, Rockville n. 27, p.321-348, 1976.

3 FENOLOGIA DA FASE REPRODUTIVA DO CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO COM O CLIMA

Resumo

Com a finalidade de obter conhecimentos básicos sobre o ciclo reprodutivo do cafeeiro e sua relação com as variáveis climáticas, foram identificadas e caracterizadas todas as fases de desenvolvimento reprodutivo da cultivar IAPAR 59 de *Coffea arabica* L., de maio de 2004 a maio de 2005 em Londrina-PR (23°23' S, 50°11' W, 610 m), e proposta uma escala detalhada dos estádios de desenvolvimento. Para tal realizaram-se medidas de crescimento e caracterização evolutiva morfológica externa das gemas florais, flores e frutos dos ramos plagiotrópicos, em intervalos variados durante todo o ciclo reprodutivo, juntamente com o monitoramento local do clima. Na escala proposta o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro foi dividido em quatro grandes fases: Desenvolvimento da gema floral (G), Floração (FL), Frutificação (F) e Maturação (M). As fases G e F foram subdivididas, tendo como parâmetro tamanho das gemas e dos frutos, variando de G₁ até G₆ e F₁ até F₆. Para descrever a maturação, os frutos foram classificados pela coloração: M₁-verde, M₂-verde-cana, M₃-vermelho-claro (cereja), M₄-vermelho-escuro (passa) e M₅-preto (seco). As principais floradas ocorreram dez dias após a interrupção de um déficit hídrico pronunciado. O estresse hídrico e as altas temperaturas registradas no final da fase de enchimento dos grãos provocaram a antecipação da maturação dos frutos.

Palavras-chave: Gema floral, floração, frutificação, variáveis climáticas, estádios de desenvolvimento

PHENOLOGY REPRODUCTIVE PERIOD OF COFFEE PLANTS AND THE RELATION WITH CLIMATE

Abstract

In this paper it is proposed a detailed phenological scale of the reproductive cycle of coffee and the relationships with climatic variables are discussed. Field data were collected from May 2004 to May 2005 in Londrina, state of Paraná, Brazil (23°23' S, 50°11' W, 610 m), for the cultivar IAPAR 59 of *Coffea arabica* L., to characterize growth and external morphology of floral buds, flowers and fruits of the plagiotropic branches. In the proposed scale, the reproductive development of coffee was divided in four main phases: Floral bud development (G), Flowering (FL), Fructification (F), and Maturation (M). The phases G and F were subdivided based on bud and fruit size, varying from G₁ to G₆ and F₁ to F₆. To describe maturation, the fruits were classified according to external color: M₁ – green, M₂ – yellowish, M₃ – light red (cherry), M₄ – dark red, and M₅ – black (dry). The main flower blooms occurred ten days after the interruption of periods of water deficit. Water stress and high temperatures at the end of grain filling caused anticipation of fruit maturation.

Key words: Flower bud, flowering, fructification, climatic, phenological scale

3.1 Introdução

A descrição das etapas de crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo monocotiledôneas, dicotiledôneas, gramíneas e perenes, sempre foi uma questão de interesse da pesquisa. O calendário fenológico existe na China há mais de dois mil anos. O período em que a cerejeira inicia a floração foi registrado em Kyoto no ano de 750 d.C. e, desde 1736, os dados fenológicos têm sido documentados por sucessivas gerações (LARCHER, 2000). Nos dias atuais, o conhecimento da fenologia auxilia no planejamento das épocas oportunas para a realização de práticas culturais como aplicação de fertilizantes, controle de pragas, doenças e ervas daninhas (ARCILA et al., 1998), bem como em pesquisas de estimativas de safra, previsão da época de maturação e programas de melhoramento (PEZZOPANE et al., 2003).

A fase reprodutiva é marcada pela capacidade da planta produzir flores, que são resultantes de mudanças que ocorrem no meristema das gemas (LARCHER, 2000). No cafeeiro o desenvolvimento reprodutivo começa com a iniciação floral e termina com a queda dos frutos. Camargo e Camargo (2001) subdividiram o ciclo fenológico completo do cafeeiro em seis fases: 1) vegetação e gemas foliares; 2) indução e maturação das gemas florais; 3) florada; 4) granação dos frutos; 5) maturação dos frutos; 6) repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários. Pezzopane et al. (2003) descreveram uma escala das fases fenológicas reprodutiva do cafeeiro baseado em números: 0 (gema dormente); 1 (gema intumescida); 2 (abotoado); 3 (florada); 4 (pós-florada); 5 (chumbinho); 6 (expansão dos frutos); 7 (grão verde); 8 (verde cana); 9 (cereja); 10 (passa); 11 (seco). A análise histológica é o melhor método para avaliar com precisão a transição das fenofases (MOENS, 1963; BARROS et al., 1978). Todavia, observações externas com acompanhamento freqüente, também fornecem informações importantes para caracterizar as etapas de desenvolvimento

reprodutivo de uma cultura e têm possibilidade de utilização por técnicos e produtores para aperfeiçoar o manejo da cultura.

O início e a duração das distintas fases do desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro variam de um ano para outro em um mesmo local, devido sua alta correlação com as condições climáticas. De modo geral no Brasil, no Zimbábue e na Índia, a emissão da gema floral ocorre quando o período diurno começa a diminuir, as temperaturas se atenuam e a estação da seca se estabelece. A floração advém com as primeiras chuvas da primavera, a frutificação se desenvolve no verão, em condições de altas temperaturas e chuvas abundantes e o ciclo se completa com maturação e colheita no outono/inverno (RENA e MAESTRI, 1985). Todavia, essas fases fenológicas sofrem variações em função das condições climáticas vigentes. Em locais próximos, com características topográficas diferentes, o ciclo reprodutivo do cafeeiro não é o mesmo. Por exemplo, na América Central, em regiões altas (acima de 1200m) com temperaturas mais amenas, a colheita ocorre em janeiro/fevereiro, favorecendo a qualidade dos frutos e da bebida, e nas regiões baixas e quentes, em novembro/dezembro. O clima também afeta negativamente a produção quando ocorrem temperaturas altas durante o desenvolvimento da gema floral e deficiência hídrica pronunciada na fase de enchimento do grão. Assim, estudos de caracterizações climáticas durante o ciclo reprodutivo são fundamentais para a determinação de fatores importantes na cultura cafeeira, como qualidade e produtividade.

Este trabalho tem como objetivo elaborar uma escala detalhada da fase reprodutiva do cafeeiro e investigar sua correlação com o clima, fornecendo suporte para a caracterização do desenvolvimento reprodutivo de cafeeiros da espécie *Coffea arabica*.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na área experimental do IAPAR, em Londrina, PR, cujas coordenadas geográficas são: altitude 610 m, latitude 23°23'S e longitude 50°11'W. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), com 82% de argila. O clima da região é do tipo Cfa, descrito como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é 21°C, a média do mês mais quente é 24°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 17°C (junho). A precipitação média anual é de 1.500 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (CAVIGLIONE et al., 2000).

Foram avaliados cafeeiros da espécie *Coffea arabica* da cultivar IAPAR 59, plantados em junho de 1993 no espaçamento de 2,5m entre linhas e 1,5m entre plantas com 2 plantas por cova, em uma área total de 1600 m² (20 m x 80 m). Essas plantas foram recepadas em outubro de 2000, em decorrência de geada. Foram avaliadas quatro parcelas de quatro plantas de cafeeiros cultivados a pleno sol. As observações dos estádios de desenvolvimento foram por meio de visualização externa do tamanho das gemas florais, quantidades de flores e coloração dos frutos em dois ramos selecionados, um voltado para a face sul outro para a face norte e localizados no terço superior da planta. As avaliações foram realizadas de maio de 2004 a maio de 2005, nas seguintes datas: 08/05/04, 27/05/04, 22/06/04 21/07/04 20/08/04, 15/09/04 20/09/04, 27/09/04, 20/10/04, 09/11/04, 24/11/04, 15/12/04, 27/01/05, 15/03/2005, 29/03/2005, 12/04/2005, 26/04/2005, 10/05/2005 e 20/05/2005. Observações semanais eram feitas a fim de detectar se havia modificações e/ou desenvolvimento das estruturas avaliadas.

Para caracterização do clima dados diários de temperatura e precipitação foram obtidos da estação meteorológica do IAPAR, situada a 100m da área experimental. A disponibilidade hídrica durante o ciclo foi quantificada por meio do balanço hídrico decendial,

utilizando o método de Thornthwaite e Matter (1955), considerando a capacidade de armazenamento de água no solo de 100mm.

3.3 Resultados e Discussão

O desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro foi dividido em quatro grandes fases: Desenvolvimento da gema floral (G), Floração (FL), Frutificação (F) e Maturação (M), as quais são denominadas com suas letras iniciais, a exemplo da metodologia adotada por Marur e Ruano (2001) para a determinação dos estádios de desenvolvimento do algodoeiro. A fase G foi subdividida tendo como variável o tamanho das gemas; a fase F foi subdividida de acordo com o tamanho dos frutos e, para a fase M o critério adotado foi coloração dos frutos.

A passagem da gema à fase reprodutiva (indução) compreende uma seqüência de eventos de natureza bioquímica e morfológica que começa com o estímulo indutivo. Em *Coffea arabica* um leve achatamento do meristema e sua elevação acima do nível original são os primeiros indícios visuais de transição floral (RENA e MAESTRI, 1985). Na seqüência são lançadas pequenas gemas que vão crescendo e ficando visivelmente diferenciadas. A caracterização das subfases foi feita da seguinte maneira: G₁ - refere-se aos nós com gemas indiferenciadas; G₂ – nós com gemas intumescidas; G₃ – gemas com até 3 mm de comprimento; G₄ – gemas medindo 3,1 a 6 mm de comprimento; G₅ – gemas de 6,1 a 10 mm; G₆ – gema maior que 10 mm (Figura 3.1).

As flores de *C. arabica* possuem corola branca, constituída de cinco pétalas unidas entre si até a parte mediana. Após a fertilização a corola se desprende do ovário e este forma o fruto, o qual é uma drupa, normalmente com duas sementes.

O crescimento e o desenvolvimento dos frutos seguem o padrão de uma curva sigmoidal dupla (WORMER e NJUNGUNA, 1966; CANNELL, 1971; GÓMEZ, 1977). As subfases foram descritas de acordo com o tamanho dos frutos: F₁ - até 3 mm de

comprimento; F₂ – 3,1 a 4 mm; F₃ – 4,1 a 5 mm; F₄ – 5, 1 a 10 mm; F₅ – 10 a 15 mm; F₆ – maior que 15 mm (Figura 3.1).

Na fase de maturação (M) ocorrem vários processos metabólicos e modificações na composição química que permitem os frutos alcançarem seu ponto ideal de colheita, o qual se confirma por troca de coloração de verde a vermelho ou amarelo, dependendo da cultivar. A descrição das subfases da maturação iniciou quando foram identificados nas observações semanais frutos de coloração diferente do verde. Assim, designou-se M₁ para frutos de coloração verde, ou seja, sem evidências de alteração na cor; M₂ para frutos de coloração verde-cana, os quais já iniciaram a maturação; M₃ para frutos em estágio “cereja”, de coloração vermelho-claro e maduros fisiologicamente; M₄ para frutos no estágio “passa”, de coloração vermelho-escuro e com início de desidratação; M₅ para frutos secos, desidratados com coloração externa escura (Figura 3.1). Outros autores também descreveram os estádios de desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro (MOENS, 1968; MAJEROWICZ, 1984; CAMOYO e ARCILA, 1996; PEZZOPANE et al., 2003).

A regulação de mecanismos endógenos que geram as mudanças das fenofases ocorre em função de fatores ambientais. Por exemplo, diversos autores consideram que o balanço hídrico exerce um papel primordial no controle do ciclo reprodutivo de *Coffea arabica* (ALVIM, 1973; BROWNING, 1977; KUMAR, 1979). Compreender essa inter-relação clima-fase é primordial, pois proporciona informações sobre frequência da floração, início da frutificação e amadurecimento dos frutos.

Em cafeeiros, a relação entre o clima e a transição da fase vegetativa para a reprodutiva, ou seja, a indução floral, ainda não está totalmente elucidada devido aos poucos estudos a respeito e a grande quantidade de fatores envolvidos como fotoperíodo, temperatura

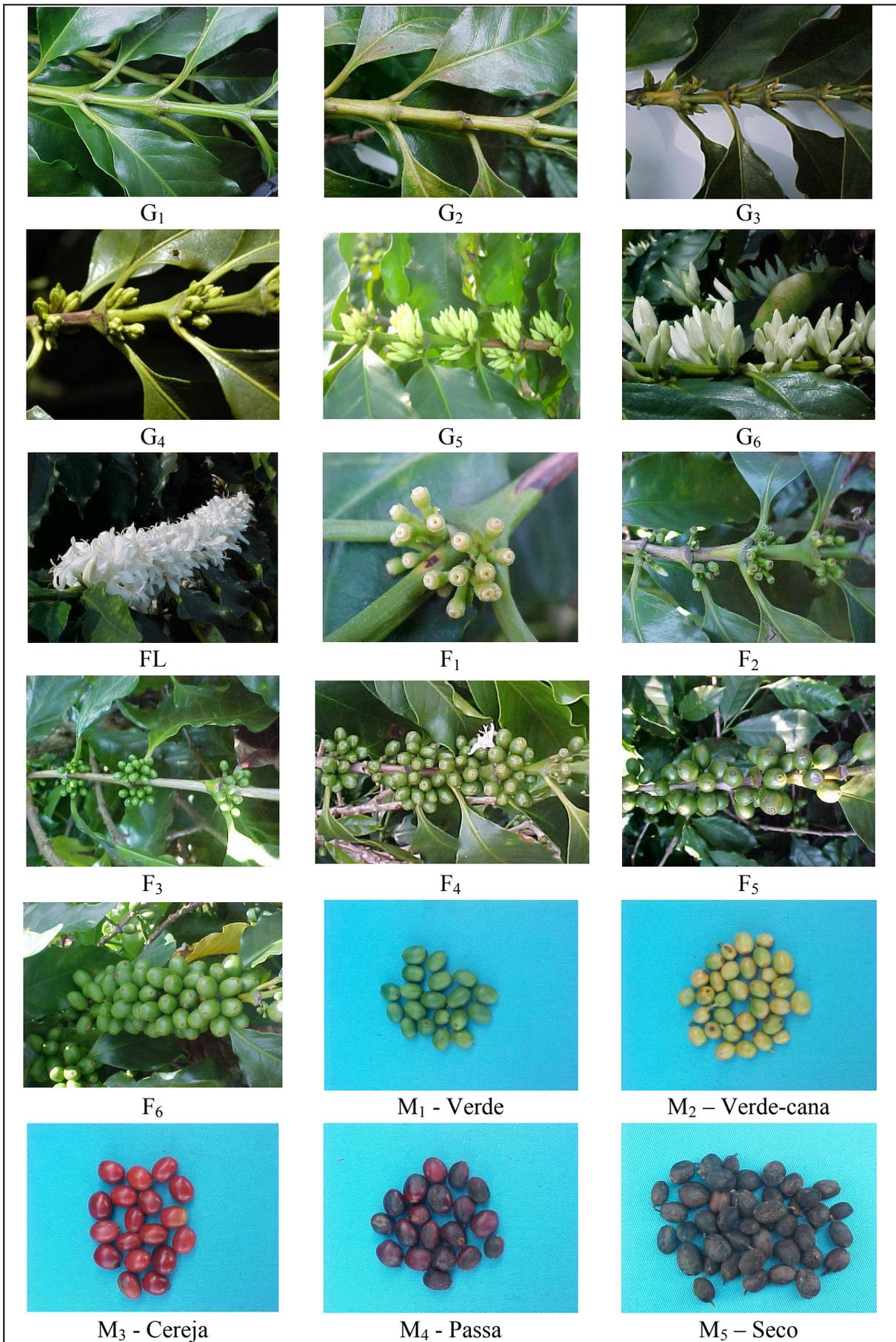


Figura 3.1. Escala das Fases Fenológicas Reprodutivas do Cafeeiro.

água e atributos endógenos (genótipo, crescimento vegetativo, potencial produtivo estado nutricional e reguladores de crescimento). Neste trabalho não foi possível observar quando ocorreu a indução, porque as avaliações foram baseadas em visualizações externas ao invés de cortes histológicos, o que impossibilitou determinar a época exata do início desta fase. Contudo, observou-se que na primeira avaliação (08/05) apenas 18% dos nós estavam no estágio G_1 (visualmente indiferenciados) (Figura 4.3), ou seja, é um indício de que a maioria dos nós (82%) já estava induzida à formação de flores e frutos. Em um estudo realizado em Campinas, através de cortes histológicos de cafeeiros conduzidos em condição de campo, Majerowicz (1984) observou que a maioria das gemas era induzida em janeiro e fevereiro, apesar de haver indução até o final de julho, ou seja, o principal período indutivo ocorreu quando as temperaturas eram altas (23°C – média diária) e suprimento hídrico satisfatório (excedente de água); portanto o fenômeno indutivo não estaria associado à diminuição de temperatura ou déficit hídrico como sugerem Mes (1957), Wormer e Gituanja (1970), Barros et al., (1978), Sondhal e Sharp (1979) e Kumar (1979). Assim, a autora inferiu que a indução das gemas florais em cafeeiros estaria fundamentada em uma das seguintes hipóteses: a) fotoperíodo sensível, através do qual os cafeeiros detectariam a progressiva diminuição do comprimento do dia, a partir de 22 de dezembro; b) interação entre fotoperíodo, temperatura e estado hídrico e c) condições específicas, como número crítico de nós (relacionado ao crescimento vegetativo). Kumar (1979) discutiu o possível envolvimento do ácido abscísico (ABA) e das giberelinas na indução de gemas florais do cafeeiro, argumentando que por ser uma planta de dias curtos, exigia baixo nível de giberelinas e elevados níveis de ABA. O déficit hídrico promoveria a produção de ABA e beneficiaria a indução floral através de uma concentração favorável de GA/ABA.

As principais floradas ocorreram depois de períodos de déficit hídrico acentuado, seguido de intensas precipitações: 35,2 mm no 2º decêndio de setembro/2004 e

155,5 mm no 2º decêndio de outubro/2004 (Figura 3.2). Camargo (1985) relata que a chuva que ocorre a partir de agosto é determinante para a quebra da dormência das gemas florais. O cafeeiro tem um período de dormência no qual ocorre a paralisação do crescimento das gemas florais após certa fase do desenvolvimento. Esta fase de repouso das gemas florais ocorre, de modo geral, na estação seca do ano, estendendo até o término do déficit hídrico (ALVIM, 1973; BROWNING, 1977; BARROS et al., 1978; MAJEROWICZ, 1984). Após as primeiras chuvas na primavera, o crescimento das gemas florais é retomado e acompanhado por drásticas alterações morfológicas, anatômicas e bioquímicas (BARROS et al., 1978; KUMAR, 1979; BROWNING, 1977; ALVIM, 1973, MAJEROWICZ, 1984). A corola sofre um incremento de peso fresco e peso seco da ordem de 500% e 300%, respectivamente, até a antese (MES, 1957; BROWNING, 1971). Alvim (1958) e Browning (1971) relatam que a rápida elevação no potencial hídrico das gemas florais e/ou as reduções das temperaturas do ar, promovem a liberação de giberelinas ativas, as quais provocam o fim da dormência. Essa quebra da dormência após a chuva, antecedida por um longo período de estresse hídrico, também foi observado por Rena e Maestri (1985), Camargo e Camargo (2001) e Pezzopane et al. (2003).

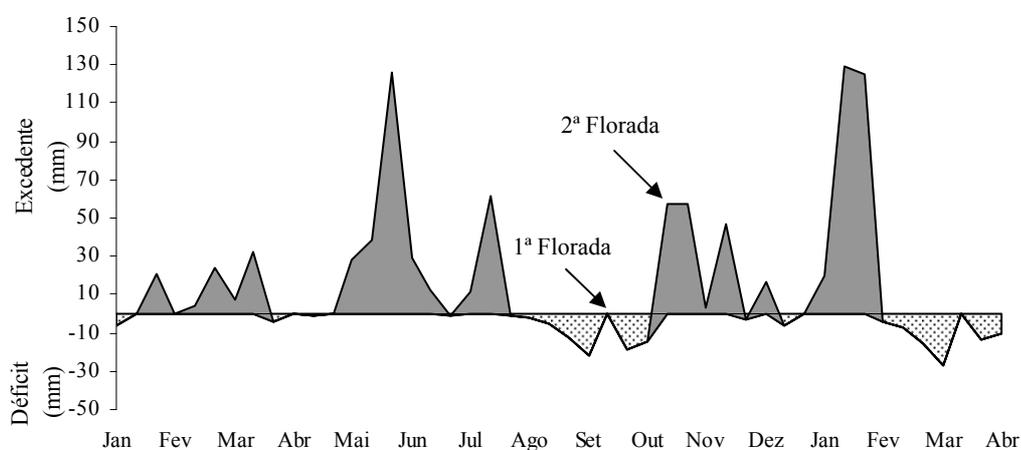


Figura 3.2. Extrato do balanço hídrico decendial de Thornthwaite e Matter (1955), no período de janeiro de 2004 a abril de 2005, em Londrina, PR.

Na região onde foi realizado o experimento, a chuva que desencadeou a floração marca o início da estação chuvosa (primavera-verão), principal etapa de crescimento do grão (Fase F). A ocorrência de estiagem acentuada nessa fase afeta o crescimento dos frutos (Camargo e Camargo, 2001). Durante esse período (outubro a janeiro) houve um veranico pouco pronunciado (Figura 3.2), o qual não afetou o crescimento dos frutos, mas pode ter contribuído para a abscisão dos mesmos (Figura 6.2).

Apesar da cultivar avaliada ser classificada como semi-precoce a maturação foi acelerada quando comparada com outras safras. A colheita geralmente acontece no final de junho e início de julho, mas devido às altas temperaturas e a deficiência hídrica registrada a partir de fevereiro (Figuras 3.3 e 3.2) houve uma diminuição no período de maturação, com a colheita em maio. A taxa de desenvolvimento das plantas está associada à temperatura do meio e o somatório térmico expresso em quantidade de energia que ela necessita para atingir a maturidade é constante, portanto em condições de temperaturas altas o ciclo se torna mais curto. O período seco e as altas temperaturas também favoreceram ao desenvolvimento da Cercosporiose, doença causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk & Cook. Essa doença, que ocorre associada com estresse provocado por insolação e temperaturas excessivas, provocou lesões nos frutos e fez com que os grãos passassem direto do estágio verde para o seco, amadurecendo precocemente.

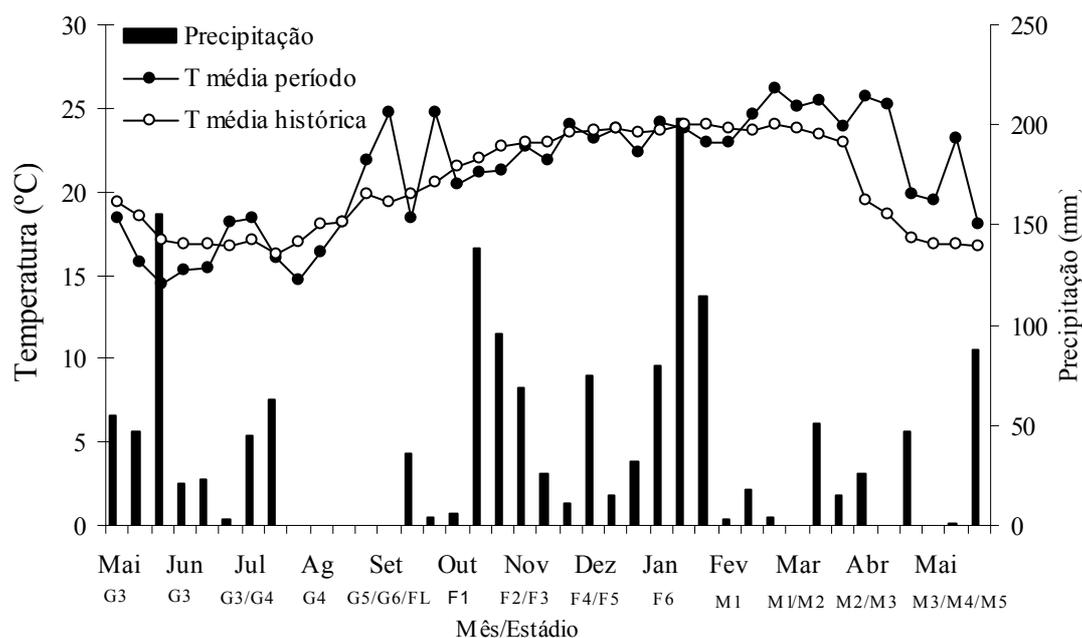


Figura 3.3. Temperatura média decenal (maio/2004 a maio/2005), temperatura média histórica decenal (1976-2004) e precipitação em Londrina, PR.

3.4 Conclusão

O desenvolvimento reprodutivo do *Coffea arabica cultivar* IAPAR 59 é claramente visível e pode ser representado por estádios fenológicos específicos, cujas mudanças são fortemente influenciadas pelas condições ambientais.

Referências

ALVIM, P. T. Factors affecting flowering of coffee. In: GENES, enzymes and populations. London: Plenum Press, 1973. p.193-202.

ALVIM, P. T. Estimulo de la floración y fructificación del cafeto por asperciones con ácido giberélico. **Turrialba**, San Jose, n.8, p.64-72, 1958.

ARCILA, P. J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; WICKE, H. Aplicacion de la Escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenologicas del desarrollo de la planta de café *Coffea sp.* **Cenicafé**, Chinchina, 1998. Folheto interno.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee: a review. **Journal of Coffee Research**, Balehonnur, v.8, n.2-3, p.29-73, 1978.

BROWNING, G. **The hormonal regulation of flowering and cropping in *Coffea arabica* L.** 1971. Thesis (Ph.D) - University of Bristol, London.

BROWNING, G. Environmental control of flower bud development in *Coffea arabica* L. In: LANDSBERG, J. J.; CUTTING, C. V. (Ed). **Environmental effects on crop physiology.** New York: Academic Press, 1977. p.321-331.

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

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.20, n.1, p.65-68, 2001.

CANNELL, M. G. R. Effect of the presence of fruits on net photosynthesis. **Annual Report Coffee Research Station**, Ruiru, 1971. p.41-42.

CAMOYO V., G. C.; ARCILA P., J. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. **Cenicafé**, Chinchina, v.47, n.3, p.121-139, 1996.

CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P. H.; KIIHL, L. B; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina, Brasil: IAPAR, 2000. CD-ROM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999.

GÓMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, v.28, n.1, p.3-17, 1977.

MAJEROWICZ, N. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de *Coffea arabica* L.:** observações sobre a antese e maturação dos frutos. 1984. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. A review. **Kenya Coffee**, Nairobi, n.44, p.9-47, 1979.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: RiMa, 2000.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.5, n.2, p.313-317, 2001.

MES, M. G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, Lisboa, n.5, p.25-44, 1957.

MOENS, P. Les bougeons végétatifs et génératifs de *Coffea canephora* Pierre. **La Cellule**, Louvain, v.63, n.2, p.165-244, 1963.

_____. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. **Turrialba**, San Jose, v.18, n.3, p.209-233, 1968.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

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

SONDAHL, M. R.; SHARP, W. R. Research in *Coffea spp* and applications of tissue culture methods. In: PADDOCK E. F.; RAGHAVAN, E. V. (Ed.). **Plant cell and tissue culture: principles and applications**. Columbus, Ohio State University Press, 1979. p. 527-584.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.

WORMER, T. M.; NJUNGUNA, S. G. Bean size and shape as quality factors in Kenya Coffee. **Kenya Coffee**, Nairobi, n.31, p.397-405, 1966.

WORMER, T. M.; GITUANJA, J. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. **Kenya Coffee**, Nairobi, n.35, p.270-277, 1970.

4 CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA DE CAFEEIROS SOMBREADOS ARTIFICIALMENTE E CULTIVADOS A PLENO SOL

Resumo

Estudos sobre Sistemas Agroflorestais na cafeicultura têm demonstrado o potencial do sombreamento para atenuar extremos climáticos, aumentar a diversidade biológica, promover sustentabilidade da produção e reduzir o impacto ambiental ocasionado pelo intenso desmatamento praticado nas últimas décadas. O conhecimento das alterações microclimáticas que ocorrem em cada sistema, em determinada fase de desenvolvimento, é importante para elucidar as influências sobre o ciclo da cultura, produtividade e qualidade da produção, auxiliando no correto manejo do sistema. Dentre as modificações microclimáticas, a diminuição do resfriamento noturno que pode evitar ou diminuir os impactos das geadas é um dos principais benefícios do sombreamento. Neste estudo conduzido em Londrina, PR (23°23' S, 50°11' W, 610 m), foi caracterizado o microclima de cafeeiros sombreados artificialmente com malhas do tipo “sombrite” com 50% de porosidade e cafeeiros cultivados a pleno sol, no período de maio a setembro de 2004, o qual corresponde à fase de desenvolvimento da gema floral. Os parâmetros avaliados foram: radiação solar global e fotossintética, temperaturas do ar a 0,5m do solo e acima da copa dos cafeeiros, temperatura da folha, temperatura do botão floral, temperatura do solo e umidade relativa do ar. O sombreamento reduziu em torno de 60% os níveis de radiação solar global e fotossintética, incidente sobre os cafeeiros, aumentou a umidade relativa do ar, atenuou as temperaturas médias e máximas e impediu a queda acentuada da temperatura durante as noites frias.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, geada, radiação solar, temperatura, sombrite

MICROCLIMATIC CHARACTERIZATION OF COFFEE ARTIFICIALLY SHADED AND GROWN UNDER FULL SUNLIGHT

Abstract

Studies of coffee cropping as a component of Agroforestry Systems have demonstrated the potential of shading to attenuate climatic extremes, increase biology diversity, promote the sustainability of production and reduce of environment impact caused by intense deforestation practiced in the last decades. The quantification of microclimatic modifications that occur in each system and their impacts in specific phases of development is important to elucidate the influences on crop cycle, productivity and coffee quality, helping to support system management. Among the microclimatic modifications, the reduction of night freezing to prevent or avoid the impacts of frost is the main advantage of shading. In this study, carried out in Londrina, state of Paraná, Brazil (23°23' S, 50°11' W, 610 m), the microclimate of coffee plants was characterized under artificial shade with meshes of the kind “shadehouse” (sombrite) with 50% of porosity, compared to coffee plants grown under full sun, in the period of May to September of 2004, which correspond to the phase of development of floral buds. The variables evaluated were: global and photosynthetic solar radiation, air temperature at 0,5m height and above the coffee plants, leaf temperature, floral buds temperature, soil temperature, and air relative humidity. Shading reduced the levels of global and photosynthetic radiation incident on the coffee plants, increased the air relative humidity, attenuated the average and maximum temperatures and prevented pronounced reductions of temperatures in cold nights.

Key words: *Coffea arabica*, frost, solar radiation, temperature, shadehouse

4.1 Introdução

O clima é um fator dinâmico e responsável pelas grandes oscilações de produção na cafeicultura. Temperaturas altas provocam abortamento de flores e frutos e podem acelerar o depauperamento da planta quando associadas ao déficit hídrico e/ou baixo nível nutricional. Temperaturas abaixo de -3°C causam danos aos cafeeiros (CAMARGO e SALATI, 1967; FERRAZ, 1968; MANETTI e CARAMORI, 1986). Ambas as situações podem comprometer a produção e em caso de eventos severos pode haver mortes das plantas (CARAMORI et al., 2000).

Os Sistemas Agroflorestais na cafeicultura têm sido muito utilizados para amenizar situações climáticas adversas. Em regiões próximas ao equador, países com grandes produções como Colômbia e Costa Rica adotam tradicionalmente sistemas de produção agroflorestal para amenizar altas temperaturas e regular o excesso de produção que pode levar ao depauperamento da lavoura. No Brasil, uma especial vantagem desta técnica é a proteção contra geadas em regiões cafeeiras do sul de Minas Gerais, São Paulo e norte do Paraná (CARAMORI et al., 1987, 1996, 1999; MORAIS et al., 2006). Geadas severas, suficientes para causar danos, ocorrem com frequência média de 5-6 anos, entre os meses de junho a agosto (CAMARGO e PEREIRA, 1994; CARAMORI et al., 1996). As árvores exercem proteção aos cafeeiros por meio da redução do resfriamento decorrente da menor perda de radiação eletromagnética de ondas longas interceptadas pela copa das árvores.

Tais modificações microclimáticas favoráveis vêm associadas a outras vantagens que o sistema oferece, como incremento da fertilidade do solo (BEER, 1988), controle de pragas e doenças (NATARAJ e SUBRAMANIAN, 1975; MATIELLO, 1997), controle de ervas daninhas (MUSCHLER, 1997), conservação da biodiversidade ecológica (YOUNG, 1994), incremento da diversidade de culturas, sustentabilidade de produção e

geração de maior renda para o agricultor com produtos provenientes das espécies arbóreas como frutos, raízes, folhas, madeira, carvão e látex.

Apesar dos benefícios do sistema, no Brasil essa prática não é muito difundida, devido ao manejo inadequado ou a falta de informações embasadas em resultados de pesquisas. Em alguns casos, o sombreamento mal conduzido pode causar quebras severas na produção, principalmente quando a densidade é excessiva e há intensa competição por luz, água e nutrientes. A radiação solar no interior da comunidade vegetal é o primeiro elemento meteorológico modificado com o sombreamento. Níveis muito baixos de radiação fotossinteticamente ativa absorvidos pelos cafeeiros provocam alterações nos processos anatômicos, fisiológicos e vegetativos das plantas, com reflexos negativos no seu potencial produtivo (MORAIS, 2003). Além da densidade, é importante investigar a influência do sombreamento em determinados estádios de desenvolvimento do cafeeiro, para que se possa direcionar o sombreamento para um determinado fim, como proteção contra geadas, sem que comprometa a produção final.

Portanto, é necessário o conhecimento das amplitudes das modificações microclimáticas nos sistemas sombreados nas diferentes fases do ciclo do cafeeiro, para se ter evidências de seus efeitos sobre a produção e a qualidade do café. Isso auxilia no correto manejo da técnica, de forma que haja consonância e potencialização dos fatores climáticos e produtivos. Assim, o presente trabalho objetivou caracterizar as alterações microclimáticas em cafeeiros sombreados artificialmente durante a fase de desenvolvimento de gemas florais, comparado com cafeeiros cultivados a pleno sol.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no campo experimental do IAPAR, em Londrina, PR, cujas coordenadas geográficas são: altitude 610 m, latitude 23°23'S e longitude

50°11'W. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), com 82% de argila. O clima da região é do tipo Cfa, descrito como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 21°C, a média do mês mais quente é 24°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 17°C (junho). A precipitação média anual é de 1.500 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (CAVIGLIONE et al., 2000).

Dentro do período em que ocorre o desenvolvimento da gema floral, de maio a setembro de 2004, avaliou-se o microclima de cafeeiros da espécie *Coffea arabica*, cultivar IAPAR 59, sombreados com malhas de sombrite de 50% de porosidade, comparados com cultivo a pleno sol. Os cafeeiros foram plantados em junho de 1993 no espaçamento de 2,5m entre linhas e 1,5m entre plantas com 2 plantas por cova e recepados em outubro de 2000 em decorrência de geada. A parcela sombreada foi composta de 3 linhas de cafeeiros com 8 covas cada, com dimensão de 12 x 7,5 m e a 2,5 m de altura do solo. No centro da parcela foi instalada uma estação meteorológica automática. Em uma área adjacente, a 20 metros da área coberta, instalou-se em cafeeiros cultivados a pleno sol, outra estação meteorológica automática. Em ambos os tratamentos foram monitoradas a radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa; temperatura do ar a 1m do solo e logo acima da copa do cafeeiro (1,80 m aproximadamente); temperatura da folha; temperatura do botão floral; temperatura do solo e umidade do ar. As condições de medição de cada uma dessas variáveis são descritas a seguir:

Radiação global - Os sensores utilizados para medir radiação global foram piranômetros, que são fotodiodos compostos por células de silício, produzidos pela LI-COR (Lambda Instruments Lincoln, EUA), Modelo LI200X. Os sensores foram colocados na linha dos cafeeiros, entre plantas, à altura correspondente ao ápice ortotrópico das mesmas.

Radiação fotossinteticamente ativa - Para obtenção dos valores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) utilizou-se quantômetros, constituídos de fotodiodos de células de silício produzidos pela LI-COR, Modelo LI190SB. Os sensores foram colocados na linha dos cafeeiros, entre plantas, à altura correspondente ao ápice ortotrópico das mesmas.

Temperatura do ar - A temperatura do ar a 1m do solo foi medida utilizando sensores de termopar (cobre-constantã). Os mesmos foram colocados na linha dos cafeeiros, entre duas plantas. Para proteger da exposição direta ao sol, os termopares foram cobertos com tubos de policloreto de vinila (PVC) cortados ao meio na longitudinal, com 10 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro. A temperatura do ar acima da copa foi medida com o sensor HMP45C (ref. com. Campbell Sci., Logan, EUA).

Temperatura da folha - Esta variável foi monitorada com sensores termopares cobre-constantã, colocados na porção abaxial da folha de um ramo voltado para a face sul da planta e situado na porção mediana do cafeeiro, correspondendo ao segundo par de folhas do ramo plagiotrópico a contar do ápice.

Temperatura do botão floral - Esta variável foi monitorada com sensores termopares cobre-constantã, colocados em contato com um botão floral voltado para a face sul da planta e situado na região mediana da planta e do ramo.

Temperatura do solo - A temperatura do solo foi medida por meio de sensores do tipo termistor colocados no solo a 10 cm de profundidade, na projeção da copa e posicionados na face sul dos cafeeiros.

Umidade do ar - A umidade do ar foi medida logo acima da copa do cafeeiro, aproximadamente a 2,5 m do solo, com o sensor HMP45C (ref. com. Campbell Sci.).

Os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (ref. com. Campbell Sci., Datalogger 21X). Os dados foram coletados a cada quinze

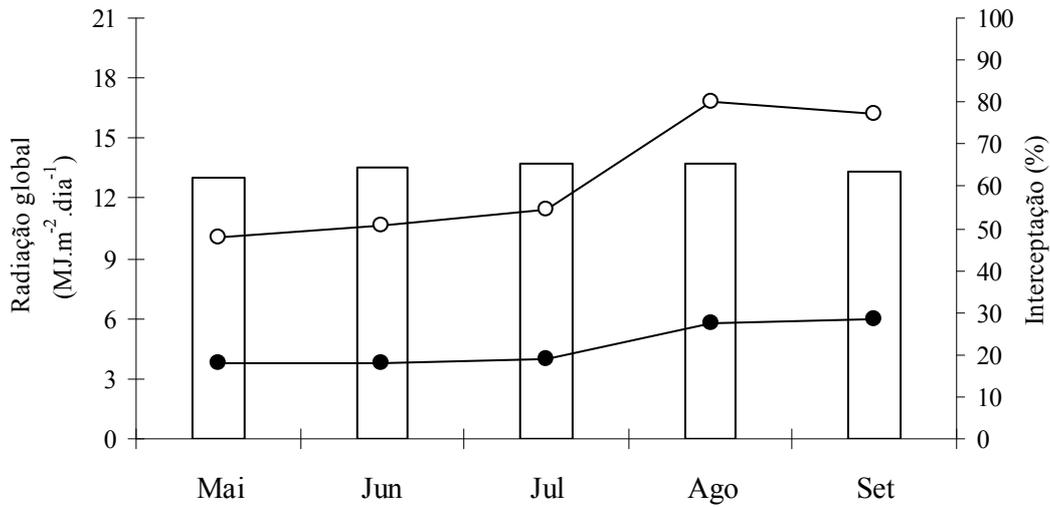
segundos e foram obtidas médias a cada quinze minutos, registrando-se ainda valores extremos de temperaturas durante o período.

4.3 Resultados e Discussão

Radiação

Os cafeeiros cultivados sob sombra tiveram redução na quantidade de radiação global e fotossintética que atingiram suas copas (Figura 4.1). Isso ocorreu devido à reflexão e absorção da radiação solar pelo material da cobertura plástica, configurando sua influência. Todavia, a interceptação foi, em média, 64% e 61% para a radiação global e fotossintética, respectivamente, ou seja, um pouco acima da porcentagem especificada pelo fabricante (50%). Isso ocorreu possivelmente devido a imprecisão nas especificações do sombrite, condensação do vapor d'água sobre a face interna da cobertura, que reduz a transmissividade e aumenta a interceptação (ROBLEDO e VICENTE, 1988) e às margens de erro dos sensores. Jaramillo et al. (2003) também caracterizaram a redução na radiação fotossinteticamente ativa em cafeeiros cobertos com sombrites. Sentelhas et al. (1999) mostraram diferenças tanto qualitativa como quantitativa na densidade de fluxo sob filmes de PVC azul e transparente. O filme de PVC azul proporcionou transmissividade média da radiação global e fotossintética, respectivamente, de 65 e 60%, ao passo que sob o PVC transparente a transmissividade média foi da ordem de 71 e 72%. Farias et al. (1993) encontraram no interior de estufa revestida com polietileno de baixa densidade, com 0,1mm de espessura, valores médios de 83% da radiação solar global, ao redor das 12 horas, os quais oscilaram entre 65% a 90%.

A



B

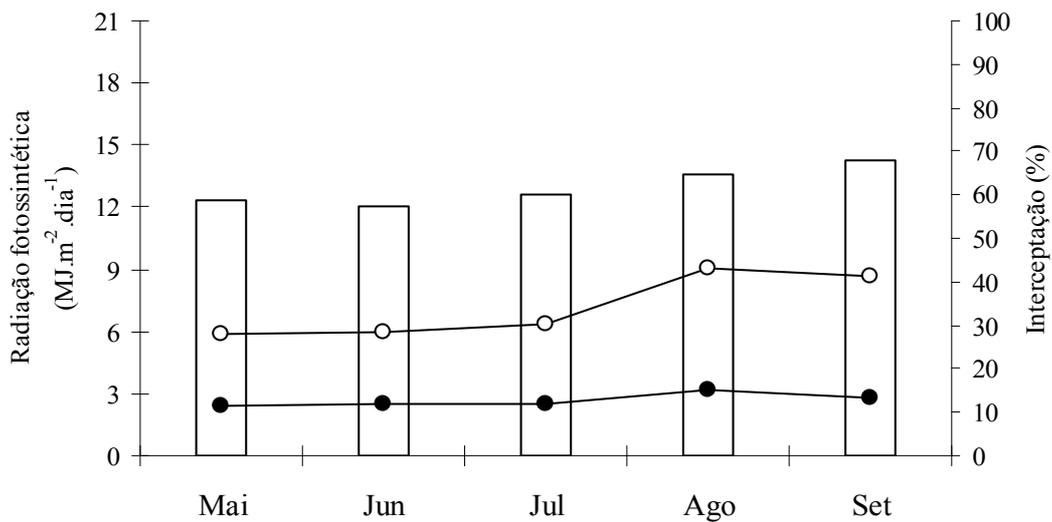


Figura 4.1. Distribuição mensal da radiação solar global (A) e fotossintética (B) acima das copas de cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). As colunas correspondem à porcentagem de radiação interceptada pela cobertura. Londrina, PR, 2004.

Temperaturas

O sombreamento provocou uma leve atenuação das temperaturas médias do ar, folha e botão floral durante todo o período avaliado (Figura 4.2). As maiores diferenças são evidenciadas nos meses mais quentes (agosto e setembro) e no interior da planta: folha, botão floral e a 1m do solo. Já acima da copa as diferenças são quase nulas durante o período

avaliado, provavelmente devido ao reduzido tamanho das parcelas. A planta tem a característica de troca intensa de energia com o ambiente, exibindo assim valores mais contrastantes. Essa tendência à condição de temperatura amena gera um microclima favorável ao cultivo de cafeeiros.

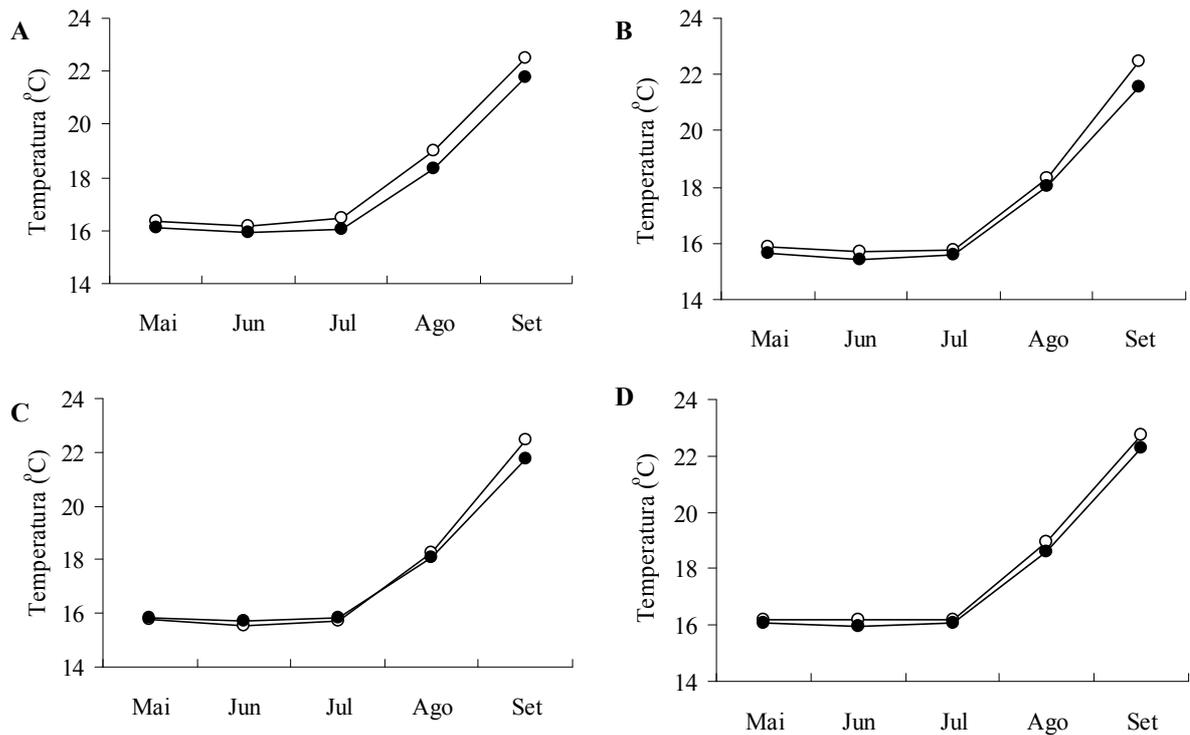


Figura 4.2. Distribuição mensal da temperatura média do ar a 1m (A), folha (B), botão floral (C) e do ar na altura da copa (D), em cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). Londrina, PR, 2004.

As temperaturas máximas diárias do ar, na altura da copa, foram praticamente idênticas nas duas condições. Já as temperaturas máximas do ar a 1m, folha e botão floral mostraram tendência similar, mas suas magnitudes foram diferentes (Figura 4.3). Houve efeito da cobertura abrandando as temperaturas máximas, principalmente nos meses mais quentes. Em setembro, a média da temperatura máxima do ar a 1m foi de 36,8°C e 31,8°C, no cultivo a pleno sol e sombreado, respectivamente, ou seja, o sistema sombreado amenizou 4°C a temperatura média ambiente. As médias mensais das temperaturas mínimas em todos os locais medidos tenderam a ser semelhantes.

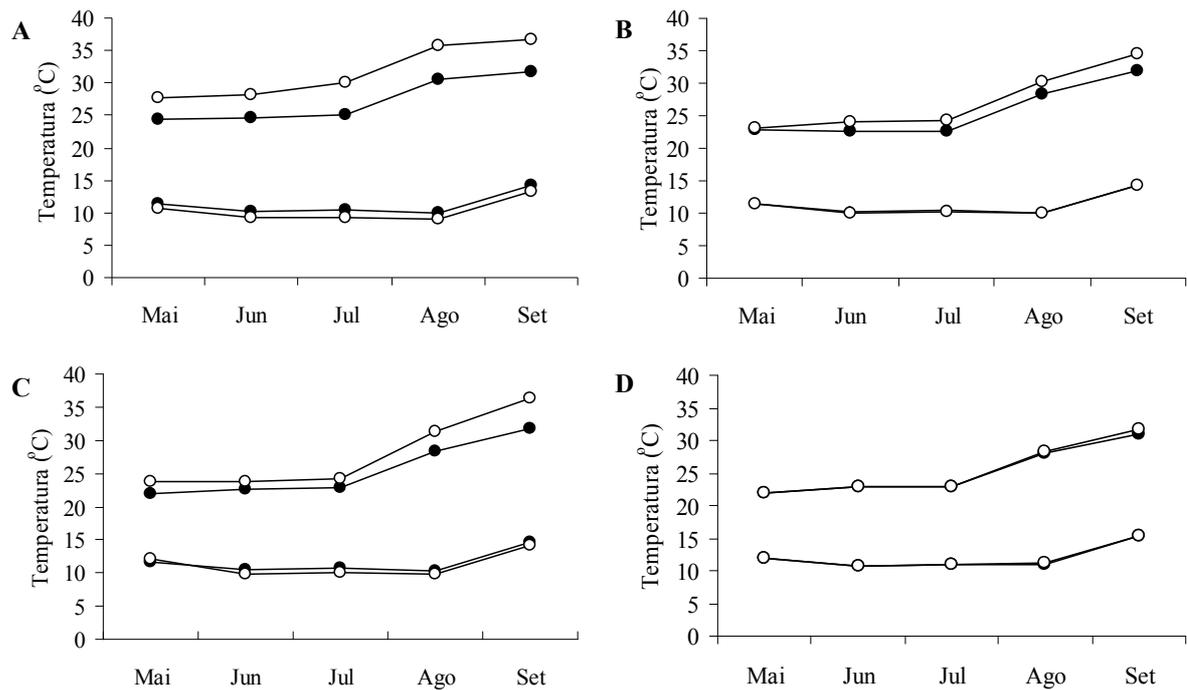


Figura 4.3. Distribuição mensal das médias das temperaturas máximas e mínimas diárias do ar a 1m do solo (A), folha (B), botão floral (C) e do ar na altura da copa (D), em cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). Londrina, PR, 2004.

A interceptação da radiação solar pela tela de sombrite atenuou temperaturas máximas (Figura 4.4), propiciando um ambiente mais adequado ao cultivo dos cafeeiros, uma vez que tal espécie, originária de condições de sub-bosques, encontra no sombreamento parcial um habitat favorável ao seu crescimento e desenvolvimento. Na Figura 3.3 observa-se que as temperaturas ocorridas no mês de setembro foram notadamente elevadas, chegando a valores superiores às temperaturas médias históricas. Paralelamente, ocorreu déficit hídrico entre 20 de julho e 10 de outubro de 2004 (Figura 3.2). Houve somente uma chuva em meados de setembro que induziu o florescimento, mas não foi suficiente para suprir a necessidade de água das plantas. A ausência de chuva nesse período fez com que a água disponível no solo atingisse níveis muito baixos. Assim, as plantas sob sombrite, beneficiadas com temperaturas mais amenas, tiveram menores perdas de água por evapotranspiração. Ao contrário, as plantas cultivadas a pleno sol, sob alta incidência de radiação e temperaturas

mais elevadas tiveram maior evapotranspiração, resultando em maior estresse. Segundo DaMatta (2004a) sugere que a alta demanda evaporativa é o responsável direto pelo fechamento estomático, que por sua vez acarreta em aumentos adicionais na temperatura foliar. Deste modo, a fotossíntese líquida é reduzida em função de limitações estomáticas, além da possibilidade de ocorrência de danos diretos à maquinaria fotossintética causados pelas altas temperaturas. Neste caso, o emprego da arborização pode atenuar os efeitos deletérios das altas temperaturas e altas demandas evaporativas (DaMatta, 2004b). Miguel et al. (1995) constataram um microclima mais ameno com a redução das temperaturas máximas de cafeeiros sombreados com *Grevilea robusta* em Varginha, MG. Barradas e Fanjul (1986) verificaram redução de 5,4°C na temperatura máxima do ar, em plantações de cafeeiros sombreados com *Inga junicuil*. Segundo Rodriguez et al. (1999), as altas temperaturas registradas no cultivo de cafeeiros a pleno sol influenciam negativamente na duração das folhas, provocando diminuição nos níveis de carboidratos e conseqüentemente na quantidade de frutos. Além disso, visíveis sintomas de injúrias são causados pelo superaquecimento e excesso de radiações (FRANCO, 1958). Mes (1957) observou um desenvolvimento floral deficiente e grande incidência de flores “estrelinhas” (abortadas) quando as temperaturas estavam altas (30°C diurna e 24°C noturna).

Não ocorreu durante o período experimental, geada ou temperatura baixa significativa que comprometesse a produção. Somente houve um episódio de geada fraca no dia 14 de junho de 2004 (Figura 4.5). As temperaturas mínimas verificadas nos cafeeiros a pleno sol foram: -1,16°C no botão floral e -1,33°C no ar (1m), enquanto que no tratamento sombreado foram: -0,22°C e -0,5°C no botão floral e ar (1m), respectivamente. Portanto, verificou-se o efeito protetor do sombreamento através da redução da queda noturna de

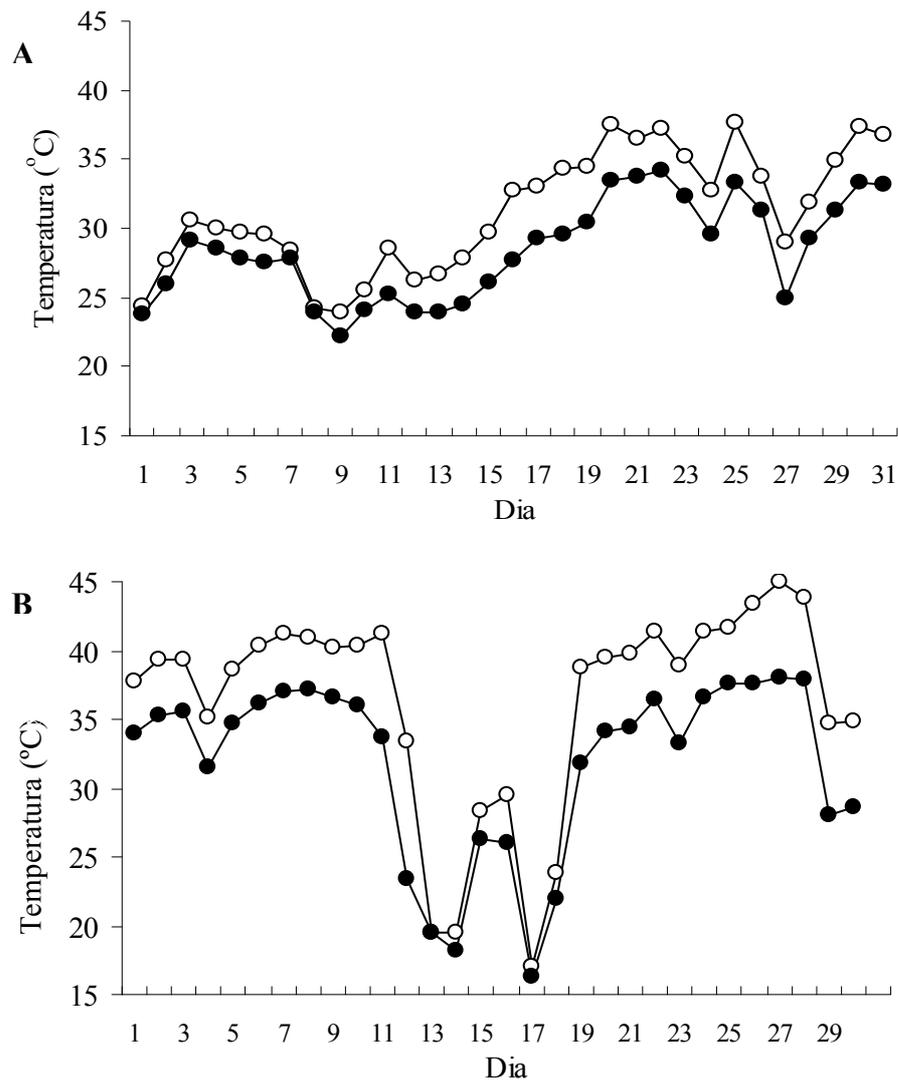


Figura 4.4. Distribuição diária da temperatura máxima do ar no mês de agosto (A) e setembro (B), em cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). Londrina, PR, 2004.

temperatura pelas malhas de sombrite. Este efeito ocorre através da interceptação da radiação de superfície na forma de onda longa pela cobertura do sombrite, reduzindo assim a perda noturna de energia. Os resultados experimentais mostraram que as temperaturas mínimas do ar sob cobertura de sombrite 50% são aproximadamente 1°C mais elevadas que temperaturas de ambiente externo. Caramori et al. (1987) observaram temperaturas mínimas do ar, sob áreas arborizadas com *Leucena leucocephala*, cerca de 2°C mais elevadas durante noites típicas de ocorrência de geadas de radiação. Matiello et al. (1994) observaram após a

ocorrência de geada, proteção total dos cafeeiros arborizados com *Grevilea robusta*. Em estudos com a espécie *Mimosa scabrella* (bracatinga), durante noites com geadas, Caramori et

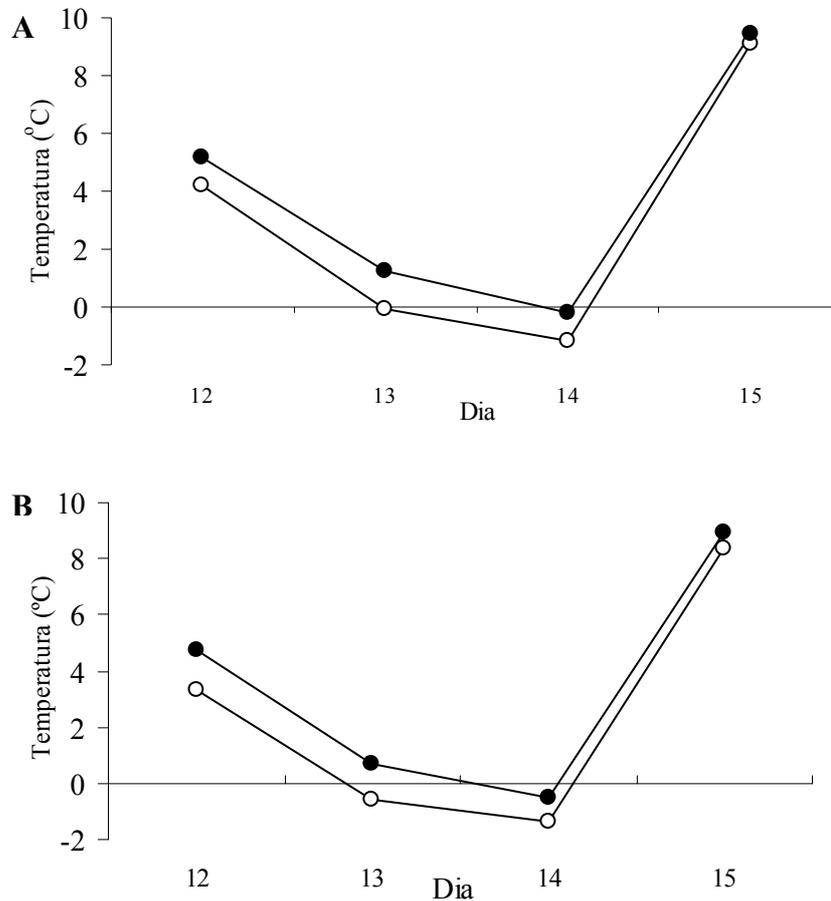


Figura 4.5. Distribuição diária da temperatura mínima do botão floral (A) e do ar a 1m (B) em cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). Londrina, junho de 2004.

al (1996) registraram temperaturas mínimas de folha entre 2 e 4°C mais elevadas que em cafeeiros cultivados a céu aberto. Caramori et al. (1999) em estudos de métodos de proteção de cafeeiros recém plantados contra geadas, encontram acréscimos de até 5,5°C na temperatura de folhas de cafeeiros arborizados com guandu, indicando esta espécie como cultura com grande potencial para minimizar impactos de geadas severas em plantações cafeeiras no primeiro ano de cultivo. Pezzopane et al. (2000) em consorciação de cafeeiros com coqueiro anão no estado de São Paulo, encontraram valores de temperaturas mínimas do

ar 1 a 3°C mais elevadas, quando comparadas a cafeeiros cultivados a pleno sol. Em Londrina, PR, cafeeiros sombreados com diversas espécies arbóreas tiveram atenuação das temperaturas mínimas nas horas mais frias do dia, com valores entre 2,4 e 3,0°C (LEAL, 2004). Morais et al. (2004) registraram temperaturas de 1,4°C mais elevadas em dias de geadas fracas, em mudas de café acondicionados em saquinhos cultivadas em viveiro com telas de sombrite 50%, comparado a mudas colocadas ao relento.

As temperaturas do solo foram semelhantes nos dois sistemas durante os meses de maio a agosto (Figura 4.6). Em setembro a diferença foi 3,2 °C, com os menores valores nos cafeeiros sombreados (18,9°C). Normalmente o cafeeiro em sistema de plantio adensado já exerce cobertura de grande parte da superfície do solo, mas com o aumento da radiação solar incidente a partir de setembro houve maior calor acumulado no solo no sistema a pleno sol e as diferenças se acentuaram. O solo funciona como um estabilizador do balanço térmico de um local, absorvendo uma considerável quantidade de calor durante o dia e se resfriando durante a noite. Sob a cobertura essa estabilização é mais eficiente, com menores oscilações térmicas, pois, durante o dia está protegido contra as fortes radiações e durante a noite apresenta menor perda de radiação térmica (LARCHER, 2000). No caso do sombreamento natural, a presença da fitomassa (raízes, caules e folhas) das árvores sombreadoras favorece a diminuição da temperatura do solo. Belsky et al. (1993), Vandenbeldt e Williams (1992) e Barradas e Fanjul (1986) registraram menores temperaturas de solo em parcelas sombreadas.

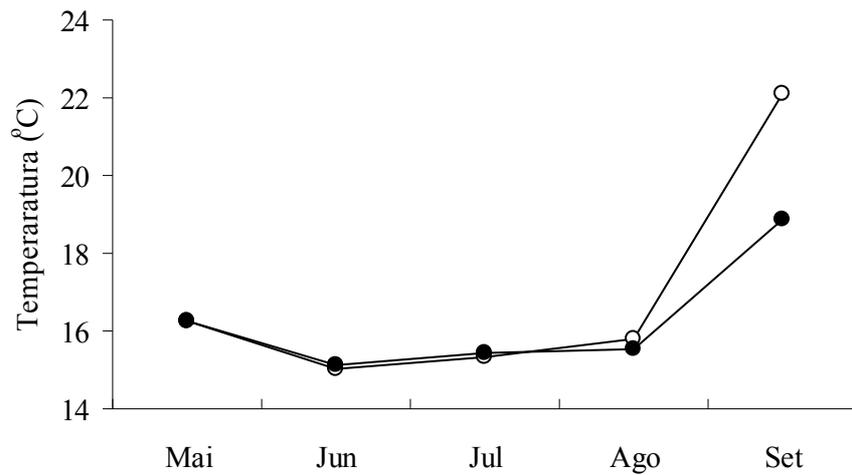


Figura 4.6. Distribuição mensal da temperatura do solo em cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). Londrina, PR, 2004.

Umidade do ar

A cobertura provocou um aumento na umidade do ar durante todo o período, inclusive no período de temperaturas mais amenas (Figura 4.7). O acréscimo foi em média de 4%, quando comparado ao cultivo a pleno sol. Isso se deve à redução da temperatura em consequência do menor fluxo de radiação incidente. Outro fator que pode ter afetado é a redução do vento pelo sombrite (dados não medidos) que teria minimizado o transporte de vapor de água para fora do dossel. Silva et al. (2004) também encontraram maior umidade relativa média em cultivo de pimentões em condições protegidas com polietileno de 100 μ m de espessura (68,3%), quando comparado à condição de campo (65,5%).

A literatura a respeito de alterações microclimáticas em cafeeiros sob sombreamento artificial é escassa, por isso a maioria das comparações relatadas nesse trabalho foi com sistemas naturais.

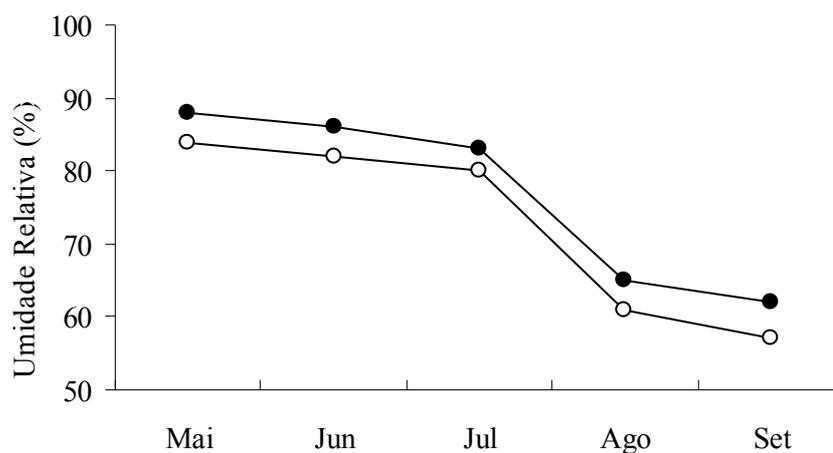


Figura 4.7. Distribuição mensal da umidade do ar em cafeeiros sombreados (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos). Londrina, PR, 2004.

4.4 Conclusão

O sombreamento de cafeeiros com malhas de sombrite de 50% provoca alterações positivas no microclima do cafeeiro, com reflexos favoráveis no desenvolvimento da cultura.

Referências

- BARRADAS, V. L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n.38, p.101-112, 1986.
- BEER, J. W. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with trees. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n.7, p.103-114, 1988.
- BELSKY, A. J.; MWONGA S. M.; DUXBURY, J. M. Effects of widely spaced trees and live-stock grazing on understory environments in tropical savannas. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n.24, p.1-20, 1993.
- CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994.
- CAMARGO, A. P.; SALATI, E. Determinación de la temperatura letal para hojas de café em noches de heladas. **Café**, San Jose, v.8, n.3, p.12-15, 1967.

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

CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.195-200, 1999.

CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J.; COSTA, A. C. S.; MARUR, C. J. SEREIA, V. J. Arborização de cafeeiros com *Leucena leucocephala* para proteção contra geadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 5., 1987, Belém. **Coletânea de Trabalhos...** Belém: CPATU, 1987. p.337-339.

CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. **Geda: técnicas para proteção dos cafezais**. Londrina: IAPAR, 2000. Circular técnica.

CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P. H.; KIHHL, L. R. B; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**.: Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

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

_____. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: ARBORIZAÇÃO de Cafezais no Brasil. Vitória da Conquista: Edições Uesb, 2004. p.87-118.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999.

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993.

FERRAZ, E. C. **Estudo sobre o momento em que a geadas danifica as folhas do cafeeiro**. 1968. 59p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FRANCO, C. M. **Influence of temperature on growth of coffee plant**. New York: IBEC Research Institute, 1958.

JARAMILLO, C.; SANTOS, R. H. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Desenvolvimento reprodutivo e produção de cafeeiros sob níveis de sombreamento e adubação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Resumos...** Porto Seguro: EMBRAPA, 2003. p.285-286.

LARCHER, W. **Ecologia vegetal**. São Paulo: RiMa, 2000.

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

MANETTI FILHO, J.; CARAMORI, P. H. Desenvolvimento de uma câmara para simulação de temperaturas baixas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.10, p.1005-1008, 1986.

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1997.

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 CAFEIEIRAS, 20., 1994, Guarapari. **Trabalhos apresentados...** MARA/Procafé, Guarapari, 1994, p. 4-5.

MES, M. G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III - Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, Lisboa, n.5, p.25-44, 1957.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. R.; GUIMARÃES, E. S. Efeitos da arborização de cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e na umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 21., 1995, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** MARA/Procafé Caxambu, 1995. p.55-57.

MORAIS, H. **Efeito do sombreamento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) com guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp.) no norte do Paraná**. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUISHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.763-770, 2006.

MORAIS, H.; CARNEIRO FILHO, F.; CARAMORI, P. H.; MARIOT, E. J.; RIBEIRO, A. M. A. Avaliação de recipientes e coberturas de mudas de cafeeiros para proteção contra baixas temperaturas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.4, p.401-406, 2004.

MUSCHLER, R. G. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusion. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 18., 1997, San José Costa Rica. **Anais...** San José, 1997. p.471-476.

NATARAJ, T.; SUBRAMANIAN, S. Effect of shade and exposure in the incidence of Brown-eye-spot of coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, n.39, v.7/8, p.179-180, 1975.

PEZZOPANE, J. R. M.; GALLO, P. B.; ORTOLANI, A. A. Caracterização microclimática em cultivo consorciado de café arabica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., v.1, 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** EMBRAPA/Café, Poços de Caldas, 2000. p. 72-75.

ROBLEDO, F.; VICENTE, L. M. **Aplicacion de los plasticos em la agricultura**. Madrid: Mund-prensa, 1988.

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

SENTELHAS, P. C.; BORSATTO, R. S.; MINAMI, K. Transmissividade da radiação solar em estufas cobertas com filmes de PVC azul e transparente. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.157-162, 1999.

SILVA, M. A. A.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. Avaliação de elementos meteorológicos durante a ocorrência de geada em cultivo de pimentão, nas condições de ambiente protegido e campo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria ,v.12, n.1, p.35-41, 2004.

VANDENBELDT, R. J.; WILLIAMS, J. H. The effect of soil surface temperature on the growth of millet in relation to the effect of *Faidherbia albida* trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n.60, p.93-100, 1992.

YOUNG, A. M. **The chocolate tree**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1994.

5 INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO NO DESENVOLVIMENTO DAS GEMAS FLORAIS, FLORAÇÃO E FOTOSÍNTESE DE CAFEEIROS

Resumo

O sombreamento de cafeeiros é uma técnica que tem sido recomendada no Norte do Paraná, São Paulo e Sul de Minas para proteção contra geadas. Todavia, para se definir os manejos mais apropriados para o emprego desta técnica, é necessário conhecer a sua influência sobre a fenologia e processos fisiológicos do cafeeiro. Assim, foram avaliados em Londrina, PR (23°23' S, 50°11' W, 610 m), o desenvolvimento das gemas florais, floração e fotossíntese de cafeeiros sombreados em diferentes épocas com malhas de “sombrite” com 50% de porosidade e cafeeiros cultivados a pleno sol. As coberturas foram colocadas sobre os cafeeiros em intervalos mensais, de abril a setembro, e retiradas no início de outubro, período em que ocorre o desenvolvimento da gema floral e floração. A densidade, época e forma de sombreamento utilizados neste trabalho não influenciaram no desenvolvimento das gemas florais, quantidade de flores, época de florescimento e fotossíntese dos cafeeiros, indicando que a interceptação de até 50% da radiação incidente, durante o período de desenvolvimento floral, não é prejudicial ao cafeeiro.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, desenvolvimento floral, florescimento, fisiologia, fenologia

INFLUENCE OF SHADING IN DEVELOPMENT OF FLORAL BUDS, FLOWERING AND PHOTOSYNTHESIS OF COFFEE PLANTS

Abstract

Shading of coffee plantations is a technique recommended for frost protection in the producing Brazilian states of Paraná, São Paulo and Minas Gerais. However, to optimize the use of this technique it is necessary to know the influence of shading on the phenological and physiological processes of the coffee plants. To help elucidating this question, the effect of shade on the development of floral buds, flowering and photosynthesis of *Coffea arabica* L. was investigated in Londrina, state of Paraná, Brazil (23°23' S, 50°11' W, 610 m). The coffee plants were shaded in different periods with meshes of shade house with 50% porosity and the effects of shade were compared to open grown plants. Covers were placed in monthly intervals, from April until August and were all removed in the beginning of October, period corresponding to the development of floral buds and flowering. Shading density, period and type of shade did not influence in the development of floral buds, amount of flowers, period of flowering and photosynthesis of the coffee plants, indicating that the interception of until 50% of incident radiation, during the period of floral bud development does not affect the coffee plants.

Key words: *Coffea arabica*, floral development, flowering, physiology, phenology

5.1 Introdução

Para o sucesso da atividade agrícola é necessário o conhecimento dos fatores do meio físico que afetam os processos fisiológicos e fenológicos das plantas. No cafeeiro a indução das gemas é o início de sua fase reprodutiva, as quais se desenvolvem nas axilas foliares dos ramos crescidos na estação anterior. Todo esse processo compreende uma seqüência de eventos de natureza morfológica e bioquímica (CAMARGO e CAMARGO, 2001). Moens (1968) dividiu o desenvolvimento das gemas reprodutivas do cafeeiro nas seguintes etapas: indução, iniciação, diferenciação, crescimento/desenvolvimento, latência e antese. Cada uma dessas etapas é afetada por fatores endógenos e exógenos que interagem de forma complexa e por isso, ainda não se conhece plenamente como e quais variáveis afetam cada fase (BARROS e MAESTRI, 1972; CAMAYO e ARCILA, 1996). Diversos fatores como fotoperíodo (FRANCO, 1940; PIRINGER e BORTHWICK, 1955; CANNELL, 1974; CANNELL, 1985), temperatura (CANNELL, 1985; MES, 1957; RENA e MAESTRI, 1985; WORMER E GITUANJA, 1970), disponibilidade hídrica (MAESTRI e BARROS, 1977; CANNELL, 1975; RENA e MAESTRI, 1985), fitormônios como giberelina e ácido abscísico (ALVIM, 1960; BARROS et al., 1978; BROWNING, 1973; MES, 1957; KUMAR, 1979), têm sido objeto de investigações a fim de elucidar os mecanismos promotores do desenvolvimento das gemas reprodutivas. Segundo Majerowicz (1984) a ocorrência de períodos de máxima diferenciação floral parece depender da interação do número de nós formados na estação de crescimento com as condições ambientais favoráveis à indução e diferenciação das gemas florais.

No Brasil o desenvolvimento floral dos cafeeiros ocorre em época sujeita às geadas. A ocorrência de geadas moderadas ou severas nessa fase, sem utilização de medidas de proteção, implica em graves prejuízos na produção do ano seguinte. Neste caso, o sombreamento vem sendo utilizado como uma alternativa para o problema, no qual a

cobertura intercepta a radiação de ondas longas emitidas pelo solo e cafeeiros, impedindo resfriamentos intensos. Arborizações de cafeeiros com grevílea, leucena, bracatinga, pinus e guandu, contribuíram para minimizar danos provocados por geadas no Norte do Paraná (CARAMORI et al., 1996; LEAL, 2004; MORAIS et al., 2006).

O sombreamento provoca alterações no microclima e, devido à plasticidade do cafeeiro, tais mudanças podem afetar seus processos fenológicos, anatômicos e fisiológicos, como a indução e diferenciação floral, floração e fotossíntese. Os impactos dependem do tipo, densidade, duração e época de sombreamento, bem como das condições climáticas vigentes. Morais et al. (2006) avaliaram cafeeiros densamente sombreados com guandu durante a fase de crescimento do ramo e encontraram menor número de nós por ramo e menor número de frutos por nó. Oroszco-Castaño (1974) e Morais et al. (2004) observaram folhas de cafeeiros densamente sombreados diferenciadas anatomicamente de plantas cultivadas a pleno sol. Maiores taxas fotossintéticas foram encontradas em folhas de cafeeiros formadas a pleno sol, comparativamente a folhas formadas sob denso sombreamento (MORAIS et al., 2003).

Em consequência das adaptações nos processos fenológicos, morfológicos e metabólicos, os cafeeiros cultivados sob intensas radiações tendem a apresentar maior produção. Assim, ao mesmo tempo em que é necessária a proteção dos cafeeiros com coberturas, é também fundamental que sejam observados os níveis e as épocas adequadas de sombreamento que não afetem economicamente a produção. Para tanto, é essencial estudos de manejo de sombreamento como densidade, época e duração, e a avaliação da interferência destes no desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. Na prática, tais conhecimentos podem auxiliar na distribuição da colheita, na estimativa da necessidade de mão-de-obra, no planejamento das práticas culturais, no manejo de pragas e doenças, na proteção contra

estresses abióticos e na identificação de alternativas para melhoria da qualidade do fruto (CAMAYO et al., 2003).

Dentro desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do sombreamento durante o desenvolvimento da gema reprodutiva, sobre o desenvolvimento das gemas florais, floração e fotossíntese de cafeeiros.

5.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no campo experimental do IAPAR, em Londrina, PR, cujas coordenadas geográficas são: altitude 610 m, latitude 23°23' S e longitude 50°11' W. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), com 82% de argila. O clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 21°C, sendo a média do mês mais quente (janeiro) de 24°C e a média do mês mais frio (junho) 17°C. A precipitação média anual é de 1.500 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (CAVIGLIONE et al., 2000).

Foram avaliados cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. da cultivar IAPAR 59, plantados em junho de 1993 em um espaçamento de 2,5 m entre linhas e 1,5 m entre plantas, com duas plantas por cova. Em outubro de 2000 foram recepados em decorrência de geada. Malhas de sombreamento do tipo “sombrite” com 50% de porosidade e dimensão de 12 x 7,5 m e 2,5 m de altura do solo foram utilizadas para cobrir os cafeeiros no início dos seguintes meses (Tratamentos): Abril (T1), Maio (T2), Junho (T3), Julho (T4) e Agosto (T5) de 2004, mantendo-se um tratamento sem cobertura como controle (T6). As coberturas de todos os tratamentos foram retiradas simultaneamente no início de outubro do mesmo ano.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada parcela constou da cobertura de 3 linhas de cafeeiros com 8 covas

cada. Em cada parcela foram avaliadas quatro plantas da linha central. Para tanto foram marcados e avaliados dois ramos localizados no terço superior de cada planta: um voltado para a direção norte e outro para a direção sul. Nos ramos marcados foram avaliados oito nós produtivos crescidos no ano anterior. Avaliaram-se os nós por meio de observações visuais externas do tamanho das gemas e quantidade de flores, nas datas expressas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Data das avaliações das estruturas florais de cafeeiros sombreados em diferentes épocas, durante o desenvolvimento da gema floral. Londrina, PR, 2004

Época da cobertura \ Data	08/05	27/05	22/06	21/07	20/08	15/09	20/09	27/09	20/10	24/11
Abril (T1)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Maio (T2)		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Junho (T3)				X	X	X	X	X	X	X
Julho (T4)				X	X	X	X	X	X	X
Agosto (T5)					X	X	X	X	X	X
Sem sombreamento (T6)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Foi elaborada uma escala fenológica para identificar e classificar as diferentes fases do desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro (Figura 3.1). Assim, denominou-se G para a fase de desenvolvimento da gema floral, subdividida em: G₁ que se refere ao nó indiferenciado; G₂ – intumescimento do nó; G₃ – gema medindo até 3 mm; G₄ – gema com 3,1 a 6 mm; G₅ – 6 a 10 mm (botão floral verde); G₆ – maior que 1 cm (botão floral branco).

Os dados de precipitação foram obtidos na estação meteorológica do IAPAR situada a 100m da área experimental. O balanço de água no solo foi realizado através do modelo SIMBA (Simulação de Balanço de Água), segundo Faria e Madramooto (1996). Considerou-se uma profundidade do perfil do solo de 80cm e 10% de água disponível, caracterizando uma capacidade de água disponível (CAD) de 80mm. Este modelo foi

calibrado para as condições de Londrina e é um componente do SMA (Sistema de monitoramento Agroclimático), utilizado para realizar o monitoramento agrometeorológico diário do Paraná (www.iapar.br/sma). Com base na porcentagem de água disponível no solo dividiu-se o período analisado em três situações: a) Excesso, quando a água disponível no solo ultrapassou 100% da capacidade máxima; b) Retirada/reposição, quando a água disponível no solo situou-se entre 50 e 100%; e c) Déficit, quando a água disponível no solo foi inferior a 50%.

Analisou-se o desenvolvimento das gemas florais por meio da estatística descritiva, determinando as frequências de cada estágio (G_1 a G_6) em relação ao total de estágios em cada avaliação. Os dados de floração foram submetidos à comparação de médias pelo Teste Estatístico de comparação de médias de Tukey, utilizando o software SAS (SAS, 1989).

Para avaliação da fotossíntese foram utilizadas três plantas de cada tratamento, escolhidas ao acaso. As medidas foram realizadas nos dias 16/06/2004 (T1, T2, T6); 23/06/2004 (T1, T2, T6) e 09 e 10/09/2004 (todos os tratamentos). As avaliações foram efetuadas no período das 9:00 às 16:00 h. Foram selecionadas folhas correspondentes ao 3º par de folhas do ramo plagiotrópico a contar do ápice, plenamente expostas à luz solar e orientadas no sentido leste/oeste em relação à luz solar incidente, com estrutura fisiológica definida e máxima atividade metabólica. Em duas folhas de cada planta procedeu-se à avaliação de fotossíntese líquida, por meio de um sistema portátil de fotossíntese (LI-COR, modelo LI-6200 e analisador de gás LI-6250). Os dados fornecidos pela câmara de fotossíntese foram processados de acordo com Marur e Vieira (1997). A comparação estatística entre os tratamentos foi feita através do teste F, a 5% de probabilidade.

5.3 Resultados e Discussão

As condições de água disponível no solo e precipitações entre abril e novembro de 2004 são apresentadas na Figura 5.1. Observa-se um período de pouca disponibilidade hídrica em abril seguido de condições favoráveis até o segundo decêndio de julho. A partir daí houve um longo período sem chuvas significativas para a reposição hídrica do solo, que perdurou até o final de outubro. As precipitações intensas ocorreram a partir de 17 de outubro.

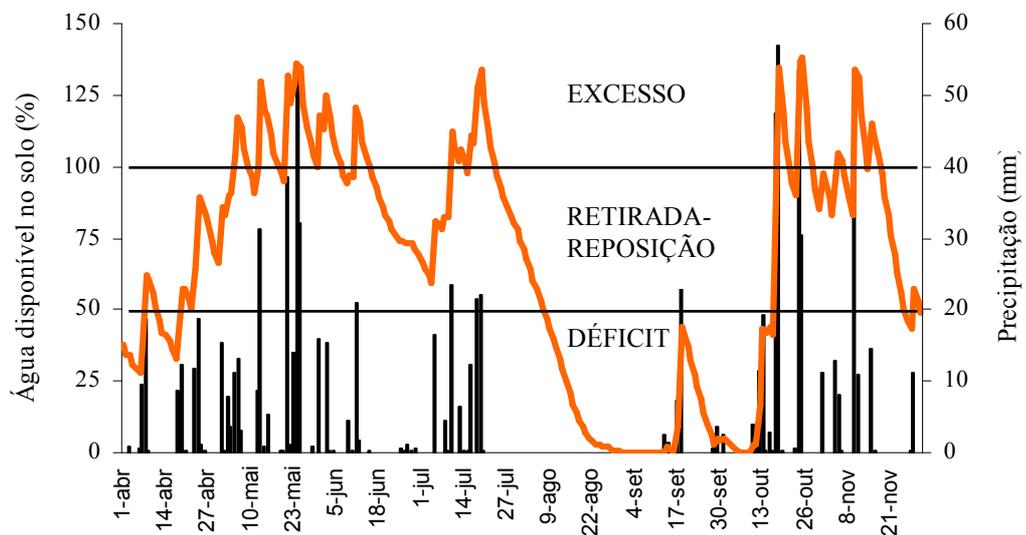


Figura 5.1. Variação da porcentagem de água disponível no solo na zona radicial do cafeeiro (0-80 cm de profundidade). As colunas correspondem à precipitação no período de abril a novembro de 2004. Londrina, PR.

Com base na escala de classificação descrita no Capítulo 3, os estádios de desenvolvimento das gemas apresentaram a seguinte evolução nos tratamentos (Figura 5.2):

G₁ – Foram observados nós com gemas indiferenciadas em pouca quantidade somente nas duas primeiras avaliações, em uma curva descendente. No início de maio, os cafeeiros sombreados em abril (T1) apresentaram somente 29% de nós indiferenciados e 18% no final do mês. Nos cafeeiros não sombreados (T6) os valores foram ainda menores, com 18% e 9%

no início e final de maio, respectivamente. Isso significa que quando foram iniciadas as avaliações a maioria das gemas, 71% e 82%, já estavam diferenciadas nos tratamentos T1 e T6. Majerowicz (1984) observou que a maior concentração da indução floral ocorre nos meses de janeiro-fevereiro, em Campinas, SP.

G₂ – Durante as quatro primeiras avaliações foram observados nós com gemas no estágio G₂, em uma curva descendente. A máxima quantidade de nós nesse estágio foi de 40% nos Tratamentos 1 e 6. Não houve diferenças marcantes entre os tratamentos.

G₃ – Já na primeira avaliação, foram verificados 32% e 43% de nós com gemas nesse estágio de desenvolvimento nos tratamentos T1 e T6, respectivamente. A presença desse estágio persistiu até a quinta avaliação, com o pico máximo de 73% em T2, na terceira avaliação. Esta foi a fase mais longa durante a evolução do desenvolvimento floral, com médias, entre todos os tratamentos, de 37% no início de maio, 62% no final de maio, 68% no final de junho e 43% no final de julho, ou seja, durante três meses houve grandes quantidades de gemas neste estágio. O suprimento hídrico durante esse período foi satisfatório. Majerowicz (1984) associou a intensificação do crescimento e diferenciação das gemas florais ao término da mobilização de matéria seca pelas sementes (granação), ou seja, as maiores taxas de crescimento das gemas reprodutivas foram registradas após a colheita. Não foram observadas diferenças expressivas entre os tratamentos.

G₄ – Essa fase foi inicialmente observada no terceiro decêndio de junho, com 16% no T1, 8% no T2, e 27% no T6. Um mês depois, a quantidade de gemas nessa fase se elevou para 59%, 34% e 52%, respectivamente, e iniciou no T3 com 34%. Em agosto houve uma grande concentração dessa fase, variando de 70% (T5) a 88% (T4). Um mês após caiu drasticamente, com variações de 7% no T6 e 18% no T3 e T2. Ocorreu durante esse período um déficit hídrico pronunciado (Figura 5.1), o que provavelmente provocou a concentração das gemas nesse estágio. Vários autores relatam que nesta fase as gemas entram em dormência

estimulada pela deficiência hídrica, para que botões florais em estádios atrasados possam atingir a fase final de diferenciação e estabelecer uma uniformização da florada (ALVIM, 1960; CAMAYO e ARCILA, 1996; DRINNAN e MENZEL, 1994; MAESTRI e BARROS, 1977; CAMARGO e PEREIRA, 1994). Não houve diferenças marcantes entre os tratamentos em todas as avaliações.

G₅ – A ocorrência de nós com gemas nesse estágio de desenvolvimento teve início na quarta avaliação. Nesta e na seguinte, observou-se uma quantidade muito pequena, variando de 12% no T5 a 2% no T4. Na sexta avaliação (15/09) a quantidade aumentou drasticamente, variando de 76% no T3 a 91% no T4. Isso indica que esta fase de desenvolvimento também é muito concentrada, provavelmente devido ao aumento da umidade relativa do ar e a ocorrência de chuvas fracas (Figura 5.3). Após cinco dias essa porcentagem diminuiu grandemente para 12% (T1) e 26% (T3 e T4). A queda acentuada das gemas neste estágio ocorreu devido às chuvas do dia 17 e 19/09, indicando que as precipitações são determinantes para a mudança de estágio e quebra da dormência. Não houve variabilidade expressiva entre os tratamentos.

G₆ – Depois da chuva os botões florais mudaram de coloração, passando de verde para branca (estádio G₆), característica que marca a quebra da dormência e iminente abertura das flores. Esse estágio se concentrou totalmente na sétima avaliação (20/09), com valores variando entre 78 e 64% em T4 e T3, respectivamente. Dez dias após a chuva houve a primeira florada. Mes (1957) relata que a precipitação associada à queda repentina das temperaturas pode contribuir para a interrupção da dormência dos botões. Browning (1973), Alvim (1958), Barros et al. (1978) e Kumar (1979) atribuem às condições hormonais o desencadeamento do mecanismo da quebra da dormência dos botões florais em cafeeiros. Outros autores também observaram a ocorrência do florescimento após a precipitação (MAJEROWICZ, 1984; RENA e MAESTRI, 1985; CAMARGO e CAMARGO, 2001; PEZZOPANE et al., 2003).

Houve homogeneidade entre os tratamentos na evolução do desenvolvimento das gemas florais, ou seja, tanto nos cafeeiros cultivados a pleno sol (T6), como nos sombreados nas diferentes épocas (T1 a T5), não foram observados deslocamentos (atraso ou avanço) em nenhuma etapa do desenvolvimento das gemas (G₁ a G₆).

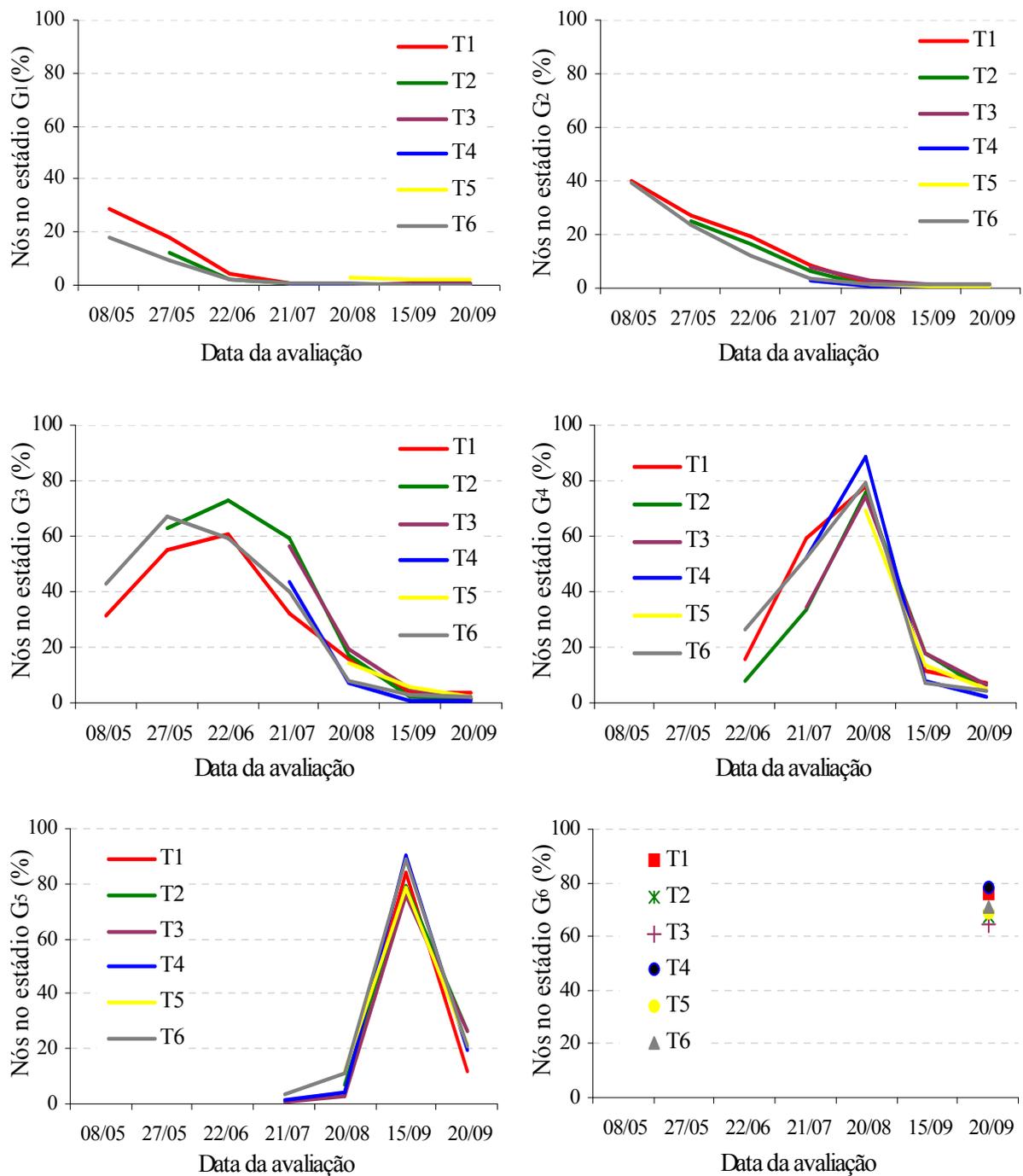


Figura 5.2. Estádios de desenvolvimento da gema reprodutiva de cafeeiros sombreados no início de Abril (T1), Maio (T2), Junho (T3), Julho (T4), Agosto (T5) e sem sombreamento (T6). Londrina, PR, 2004.

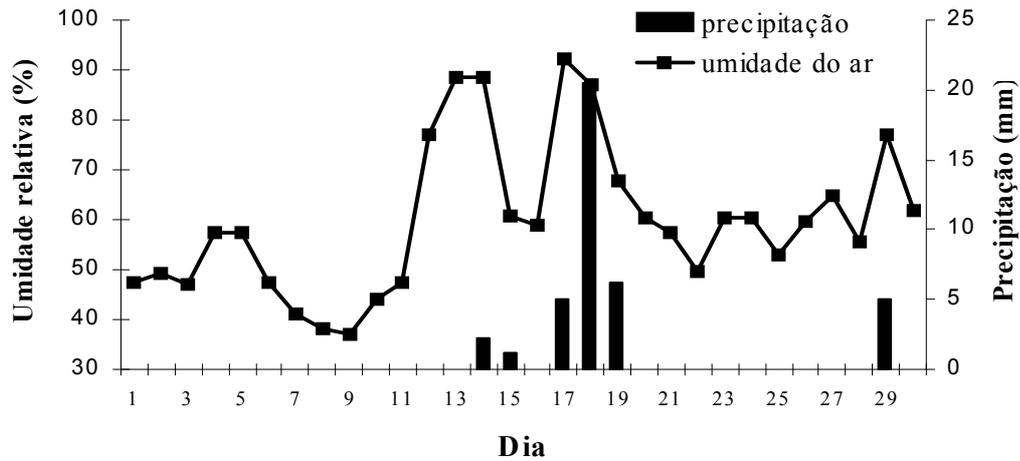


Figura 5.3. Média diária da umidade relativa do ar e total de precipitação no mês de setembro de 2004, em Londrina, PR.

As principais floradas ocorreram depois de períodos de déficit hídrico acentuado, seguido de intensas precipitações: 35,2 mm no 2º decêndio de setembro/2004 e 155,5 mm no 2º decêndio de outubro/2004 (Figura 5.1). O sombreamento dos cafeeiros nas diferentes épocas não influenciou na época da floração e na quantidade de flores das três floradas, ou seja, as floradas de todos os tratamentos ocorreram nas mesmas épocas e sem diferenças estatísticas significativas para o número de flores (Figura 5.4).

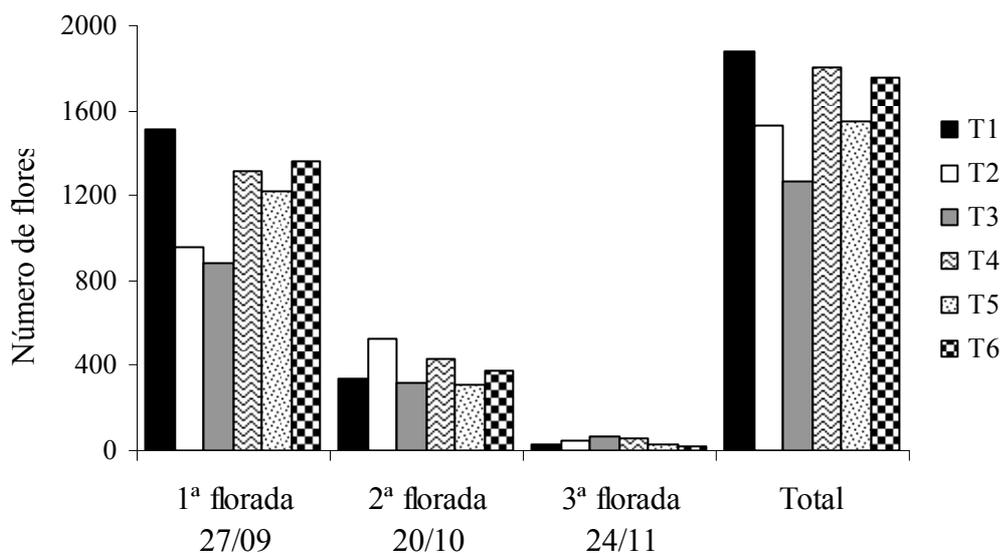


Figura 5.4. Número de flores de cafeeiros sombreados no início de Abril (T1), Maio (T2), Junho (T3), Julho (T4), Agosto (T5) e sem sombreamento (T6). Londrina, PR, 2004. Médias com a mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Jaramillo et al. (2003) também encontraram grande quantidade de flores em plantas sombreadas artificialmente com 48% de bloqueio de radiação fotossinteticamente ativa. Todavia, existem evidências de que o sombreamento durante a etapa de iniciação floral pode reduzir a indução floral e o número de flores (CANNELL, 1975). A respeito disso Castillo e Lopez (1966) demonstraram que intensidades luminosas decrescentes (100%, 75%, 50% e 25%) reduziram o número de nós com flores e o número de flores por nó nos ramos laterais. Para Kumar (1979) a menor diferenciação de gemas florais em cafeeiros deve-se ao aumento do nível endógeno de giberelinas, que têm efeito inibidor na formação de gemas florais. Este autor observou que em cafeeiros adensados (6000 plantas/ha) há um expressivo aumento na atividade da giberelina, menor indução e diferenciação de gemas florais e menor capacidade produtiva. Com a aplicação de CCC (cloreto 2-cloroetil-trimetilamônio), retardador do crescimento que restringe a biossíntese de giberelinas, houve um aumento de 30-35% na produtividade.

Nos estudos de cafeeiros sombreados é difícil comparar os efeitos sobre o desenvolvimento floral e o número de flores, devido às diferenças nas condições experimentais, destacando-se material de cobertura, densidade, duração e época de sombreamento; condições climáticas vigentes e o clima local; genótipo testado e idade das plantas, entre outros. Além disso, todos esses fatores interagem de tal forma que se torna complexo identificar quais deles provocam mudanças fenológicas, fisiológicas ou morfológicas nos cafeeiros. Neste trabalho as plantas sombreadas podem ter sido mais beneficiadas com cobertura feita com tela de sombrite, sob a qual não houve a competição por água como ocorre com algumas árvores sombreadoras; pelo sombreamento parcial, com radiação incidente dentro da faixa adequada para os cafeeiros; pela cobertura sazonal, com períodos curtos de sombreamento e pela ausência de sombreamento no período de formação dos ramos e folhas (setembro-março).

Na Tabela 5.2 observa-se que as maiores taxas fotossintéticas ocorreram no período da manhã entre as 9 e 10h, com média geral, em todos os tratamentos e todos os dias, de 3,2; 2,6 e 1,5 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no horário das 9 às 10h, 10:30 às 12:00 e 13:30 às 14:30, respectivamente. Marur e Faria (2006), avaliando folhas individuais de cafeeiros a pleno sol, também encontraram máximas taxas fotossintéticas entre 7:00 e 9:00 h; após este horário, com o aumento da radiação fotossinteticamente ativa, as taxas fotossintéticas diminuíram constantemente até o final do dia. Sob altas radiações e temperaturas os processos primários de fotossíntese são inibidos, principalmente por causa do fechamento dos estômatos em resposta à economia hídrica (DaMATTA, 2004).

Tabela 5.2. Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) medida no decorrer do dia em plantas de *Coffea arabica* sombreadas em Abril (T1), Maio (T2), Junho (T3), Julho (T4), Agosto (T5) e sem sombreamento (T6). Londrina, PR, 2004.

Data	Tratamento	9 – 10 h	10:30 – 12:00 h	13:30 – 14:30 h	14:30 – 16:00 h
16/06	T1	4,67 a	4,42 a	3,66 a	-
	T2	2,90 b	3,24 a	1,45 b	-
	T6	3,07 ab	2,29 a	1,22 b	-
23/06	T1	4,96 ab	5,15 a	3,03 a	2,76 a
	T2	4,44 b	4,95 a	3,24 a	2,88 a
	T6	6,11 a	4,35 a	3,60 a	3,51 a
09 e 10/09	T1	2,75 a	1,35 a	0,19 a	-
	T2	2,02 a	0,68 a	0,67 a	-
	T3	2,99 a	2,16 a	0,55 a	-
	T4	2,37 a	1,51 a	0,43 a	-
	T5	2,31 a	1,84 a	0,53 a	-
	T6	1,70 a / 1,84 a	0,64 a / 1,09 a	0,58 a / 0,44 a	-

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, na mesma data, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste F.

Nas avaliações de junho, época em que havia suprimento hídrico satisfatório, as taxas de fotossíntese foram mais elevadas, com médias de 3,00 e 4,43 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para os dias 16 e 23, respectivamente, em todos os horários e tratamentos. Já no mês de setembro, período com déficit hídrico (Figura 5.1), as taxas fotossintéticas foi de 1,36 $\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em setembro, também em todos os horários e tratamentos (Tabela 5.2). Isso evidencia o efeito da disponibilidade baixa hídrica na fotossíntese dos cafeeiros. DaMatta (2004) sugere que a alta demanda evaporativa é o responsável direto pelo fechamento estomático, que por sua vez acarreta em aumentos adicionais na temperatura foliar. Deste modo, a fotossíntese líquida é reduzida em função de limitações estomáticas, além da possibilidade de ocorrência de danos diretos à maquinaria fotossintética causados pelas altas temperaturas.

A fotossíntese líquida não apresentou, de maneira geral, diferenças significativas entre os tratamentos, ou seja, o sombreamento não influenciou na fotossíntese (Tabela 5.2). Isso provavelmente ocorreu porque as folhas sombreadas foram formadas na estação anterior a pleno sol, portanto tinham as estruturas anatômicas adaptadas para receber altos níveis de radiação (maior número de estômatos, atividades de abertura e fechamento dos estômatos mais intensas, maior facilidade do CO_2 se difundir nos espaços intercelulares). Segundo Larcher (2000) as folhas se adaptam de forma modificativa e definem suas estruturas internas de acordo com as condições médias de radiação, preponderantemente durante a morfogênese, resultando nas folhas chamadas de sol e de sombra em uma mesma espécie, e esta diferenciação fenotípica dos tecidos é irreversível. O que provavelmente aconteceu nas folhas após o sombreamento, foram adaptações modulativas, as quais ocorrem de forma rápida e reversível. Um exemplo é o deslocamento dos cloroplastos em resposta às mudanças na intensidade da radiação. Sob fraca radiação os plastídeos se orientam perpendicularmente à luz incidente, com efeito imediato sobre o processo fotossintético, ocorrendo mudanças

reversíveis no cloroplasto (LARCHER, 2000). Assim, folhas de sol uma vez sombreadas em níveis adequados não sofrem redução na taxa de fotossíntese; ademais, poderão apresentar maior eficiência, na medida em que o estresse causado por altas temperaturas e maior demanda hídrica são minimizados e assim os estômatos poderão permanecer abertos por maior período de tempo.

Paiva e Guimarães (2001) encontraram maiores taxas de fotossíntese em mudas de cafeeiros cultivados em viveiros com 50% de sombreamento, comparadas com mudas cultivadas a pleno sol. Freitas et al. (2000) observaram maiores taxas de fotossíntese nas linhas de cafeeiros mais próximos das seringueiras, ou seja, nos cafeeiros mais sombreados, devido ao menor déficit de pressão de vapor. Nunes et al. (1968) e Kumar e Tieszen (1980) também encontraram menores valores de fotossíntese em plantas cultivadas a pleno sol, comparadas às sombreadas. Por outro lado, experiências na Costa Rica (CANNELL, 1975) e no Brasil (FAHL et al., 1994 e CARELLI et al., 1999) demonstraram que a fotossíntese é menor em cafeeiros cultivados em condições sombreadas.

Outro fator que pode ter contribuído para potencializar o aproveitamento da luminosidade pelas plantas sombreadas e não afetar a fotossíntese foi a radiação difusa, a qual pode ser proporcionalmente maior sob a cobertura. Segundo Martinez (1978), em condições de dia claro a radiação difusa correspondeu a 60% e 20% no interior e exterior da estufa, respectivamente. Farias et al. (1993) também observaram maiores valores de radiação difusa no interior de estufas que externamente. Nutman (1937) demonstrou, na África, que a atividade fotossintética no cafeeiro foi muito menor quando exposta à plena luz solar, quando comparada com plantas sob luz difusa de menor intensidade, em coberturas de baixa densidade. De acordo com Martinez (1978) a radiação difusa é mais efetiva para a fotossíntese por ser multi-direcional e penetrar melhor entre as plantas, o que pode compensar em parte a interceptação da radiação fotossintética.

Nota-se que há grande variabilidade entre os estudos realizados com fotossíntese em cafeeiros sombreados, devido às diferenças nas condições experimentais que condicionaram regimes distintos de radiação solar, temperatura e as condições hídricas do solo.

Apesar do cafeeiro ser considerado uma planta de alta plasticidade, que altera seu desenvolvimento reprodutivo com base na incidência de radiação solar que atinge sua copa, os resultados mostram que houve consonância no desenvolvimento das gemas florais, época de florescimento, quantidade de flores e taxas fotossintéticas entre os tratamentos. Todavia, as causas desses resultados ainda não estão totalmente elucidadas. Assim, algumas hipóteses são sugeridas para a realização de novos trabalhos: (a) a quantidade e/ou qualidade de luz incidente sobre os cafeeiros sombreados foram suficientes para promover a indução e desenvolvimento floral; (b) as épocas de sombreamento foram diferentes do período de maior concentração da indução floral e, uma vez induzidas, o sombreamento de 50% não afetou o desenvolvimento das gemas; (c) outros fatores como número de nós e o aparato fotossintético das folhas formadas a pleno sol na estação anterior não limitaram o desenvolvimento das gemas e floração.

5.4 Conclusão

O sombreamento artificial de 50% durante o período de desenvolvimento das gemas florais não provoca alterações fenológicas e quantitativas nas gemas florais e flores; bem como alterações fisiológicas em suas folhas.

Referências

ALVIM, P. T. Estímulo de la floración y fructificación del cafeto por asperciones con ácido giberélico. **Turrialba**, San Jose, n.8, p.64-72, 1958.

ALVIM, P. T. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. **Café**, San Jose, v.2, n.6, p.57-60, 1960.

BARROS, S. R.; MAESTRI, M. Periodicidade de crescimento em café. **Revista Ceres**, v.19, n.106, p. 424-448, 1972.

BARROS, S. R.; MAESTRI, M; COONS, M. P. The physiology of flowering in coffee: A review. **Journal of Coffee Research**, v.8, n.2-3, p.29-73, 1978.

BROWNING, G. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I. Studies of gibberellin in flower buds and xylem sap and abscisic acid in flower in relation to dormancy release. **Journal of Horticultural Science**, n.48, p.29-41, 1973.

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

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994.

CAMAYO V., G. C.; ARCILA P., J. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *C. arabica* L. variedad Colombia. **Cenicafé**, Chinchina, v.47, n.3, p.121-139, 1996.

CAMAYO V., G. C.; CHAVES, C. B.; ARCILA P., J.; JARAMILLO, R. A. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná-Caldas. **Cenicafé**, Chinchina, v.54, n.1, p.35-49, 2003.

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

CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: A review. **Journal of Coffee Research**, Balehonnur, v.5, n.1-2, p.7-20, 1975.

CANNELL, M. G. R. Factors affecting Arabica coffee bean size in Kenya. **Journal of Horticultural Science**, London, n.49, p.65-76, 1974.

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

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

CASTILLO, Z. J.; LÓPEZ, A. R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, n. 17, p. 51-60, 1966.

CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P. H.; KIIHL, L. B; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

DaMATTA, F. M. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: **Arborização de Cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Edições Uesb, 2004. p.87-118.

DRINNAN, J. E.; MENZEL, C. M. Synchronization of the anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. **Journal of Horticultural Science**, v.69, n.5, p.841-849, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999.

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

FARIAS J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R. BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993.

FARIA, R. T.; MADRAMOOTOO, C. A. Simulation of soil moisture profiles for wheat in Brazil. **Agricultural Water Management**, v.31, n.1-2, p.35-49, 1996.

FRANCO, C. M. Fotoperiodismo em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Revista do Instituto do Café**, n.27, p.1586-1542, 1940.

FREITAS, R. B.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M.; DELU FILHO, N. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26., 2000, Marília, SP. **Resumos...** Marília: MA/Procafé, 2000. p.160-161.

JARAMILLO B., C.; SANTOS, R. H. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Desenvolvimento reprodutivo e produção de cafeeiros sob níveis de sombreamento e adubação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, BA. **Resumos...** Porto Seguro: EMBRAPA, 2003. p.285-286.

KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. A review. **Kenya Coffee**, n.44, p.9-47, 1979.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000, 531p.

LEAL, A. C. **Avaliação de espécies arbóreas para sistemas agroflorestais com cafeeiros no norte do Paraná**. 2004. 114p. Tese. (Tese Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Coffee. In: ALVIM, P. T.; KOZLOWISKI, T. F. **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p.249-278.

MAJEROWICZ, N. **Estudo da diferenciação e crescimento de gemas florais de *Coffea arabica* L.**: observações sobre antese e maturação dos frutos. 1984. Dissertação. (Mestrado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MARTINEZ G., P. F. Características climáticas de los invernaderos de plástico. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias – INIA. 1978. (Folhas Técnicas, 19).

MARUR, C.J.; FARIA, R. T. Photosynthesis of individual leaves in a coffee plant. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.28, n.3, p.331-335, 2006.

MARUR, C.J.; VIEIRA, L.G.E. Spreadsheet macros for handling data collected from the LI-6200 Portable Photosynthesis System. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.133-135, 1997.

MES, M. G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, Lisboa, n.5, p.25-44, 1957.

MOENS, P. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. **Turrialba**, San Jose, n.18, p.209-233, 1968.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUISHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p. 763-770, 2006.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.

MORAIS, H.; MEDRI M. E.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; MARUR C. J.; GOMES J. C. Modifications on Leaf Anatomy of *Coffea arabica* caused by Shade of Pigeonpea (*Cajanus Cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.4, n.6, p.863-871, 2004.

NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F.; FLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I- Effects of light, temperature and CO₂ concentrations on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, n.17, p.93-103, 1968.

NUTMAN, F. J. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. **Annals of Botany**, New Series, v.1, n.3, p.353-367, 1937.

OROZCO-CASTAÑO, F. J.; CASSALETT-DÁVILA, C. Características anatómicas de las hojas y su relación con el posible ciclo fotosintético en café. **Cenicafé**, Chinchiná, v.25, n.4, p.104-112, 1974.

PAIVA, L. C.; GUIMARÃES, R. J. Desenvolvimento de plantas jovens de cafeeiros (*Coffea arabica* L) a partir de mudas submetidas a diferentes níveis de irradiância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27., 2001, Uberaba. **Resumos...** Uberaba: MA/Procafé, 2001, p.112-113.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

PIRINGER, A. A.; BORTHWICK, H. A. Photoperiodic responses of coffee. **Turrialba**, San Jose, v.5, n.3, p.72-77, 1955.

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

SAS Institute Inc. **SAS/STAT User's Guide, Version 6**. 4.ed. Cary, NC: SAS Institute, 1989.

WORMER, T. M.; GITUANJA, J. Floral initiation and flowering of *C. arabica* L. in Kenya. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.6, n.2, p.157-170, 1970.

6 FRUTIFICAÇÃO E PRODUÇÃO DE CAFEZEIROS SOMBREADOS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DAS GEMAS FLORAIS

Resumo

O sombreamento de cafezais no Brasil tem sido recomendado pelos benefícios que o sistema oferece como redução na bienalidade da produção, aumento da longevidade da planta, incremento na qualidade dos frutos, fonte alternativa de renda para o agricultor, melhoria nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, entre outros. Nas regiões brasileiras produtoras de café sujeitas às geadas o sombreamento tem sido recomendado como alternativa para proteção das lavouras. Todavia, o sombreamento modifica o microclima do cafeeiro e, dependendo da densidade e espécie de sombra utilizada, pode afetar negativamente a produção. Com o objetivo de verificar a influência do sombreamento durante o período de desenvolvimento de gemas florais sobre a produção, crescimento, maturação e tamanho dos frutos de *Coffea arabica* L., cultivar IAPAR 59, foi conduzido em Londrina, PR (23°23' S, 50°11' W, 610 m), um experimento com malhas de sombreamento do tipo “sombrite” com 50% de porosidade. As coberturas foram colocadas sobre os cafeeiros nos meses de abril a agosto de 2004 e retiradas simultaneamente no início de outubro do mesmo ano. O sombreamento durante a fase de desenvolvimento da gema floral não afetou a produção, crescimento dos frutos, maturação e tamanho dos grãos. Foram registradas temperaturas muito elevadas no final do ciclo, que provocaram a maturação acelerada dos frutos. Acumularam-se 2929 graus-dia acima de 10°C, desde o período de florescimento até a maturação dos frutos. Conclui-se que, nas condições em que o experimento foi realizado, pode-se conduzir os cafeeiros com 50% de sombra no outono e inverno sem que ocorram prejuízos na produção.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, sombreamento, sombrite, produtividade, maturação
FRUCTIFICATION AND PRODUCTION OF COFFEE PLANTS SHADED DURING THE DEVELOPMENT OF FLORAL BUDS

Abstract

Shading of coffee plantations in Brazil has been recommended for the several benefits that this technique can provide, such as reduction in the biennial cycle of production, higher longevity of the coffee plant, improvement of grain quality, source of extra incoming for the farmer, and improvement of physical, chemical and biological conditions of the soil. Shading has been recommended for frost protection in coffee plantations in southern Brazil. Nevertheless, shading modifies the microclimate of the coffee plants, and depending on shading density and species associated, coffee production could be negatively affected. With the objective of verifying the influence of shading during the period of differentiation and development of floral buds on fruits production, growth, maturation and size, a field experiment was carried in Londrina, PR, Brazil (23°23' S, 50°11' W, 610 m). Shading of adult plants of the cultivar IAPAR 59 of *Coffea arabica* L. was obtained using meshes of the type "shadehouse" (sombrite) with 50% of porosity. The coverings were placed over the coffee plants monthly from April until August of 2004 and removed simultaneously at the beginning of October of the same year. Shading during the period of development of the floral buds did not affect the production, growth, maturation and size of the coffee beans. High temperatures were recorded in the end of grain filling, causing acceleration of fruits maturation. An accumulated total of 2929 degree-days above 10°C were necessary to complete the period from flowering until 80% of fruit maturation. Under the conditions where the experiment was carried, it is possible to reduce incident solar radiation up to 50% in the autumn and winter without damages on coffee production.

Key words: *Coffea arabica*, shading, shadehouse, productivity, maturation

6.1 Introdução

O sombreamento de cafezais é uma técnica tradicionalmente utilizada nos países produtores da América Central, como Colômbia, Costa Rica, Equador e Guatemala. Nestes países, o cultivo a pleno sol geralmente não é recomendado, pois apresenta maior risco econômico e menor sustentabilidade. São exceções os locais que possuem as condições ótimas para a produção e qualidade do café, como cultivos em altitudes acima de 1.200 m com boa disponibilidade hídrica e nutricional (VAAST et al., 2005). No Brasil, apesar de predominar o cultivo a pleno sol, a técnica de sombreamento de cafezais tem se expandido em virtude da necessidade de se produzir com menor uso de insumos, como no sistema orgânico. Outras razões para a utilização de espécies consorciadas são as possibilidades de renda adicional para o agricultor e manutenção do sistema equilibrado, com preservação da biodiversidade, solo, qualidade dos recursos hídricos e seqüestro de carbono. Para o cafeeiro, o sombreamento ameniza o microclima, o protege contra temperaturas extremas, reduz a bienalidade de produção e a incidência de seca dos ponteiros, e melhora a qualidade do café (CARAMORI et al., 1996; MATIELLO e FERNANDES, 1989; RENA e MAESTRI, 1985; VAAST et al., 2005).

Nas regiões brasileiras produtoras de café sujeitas às geadas, o sombreamento tem a vantagem adicional de proteção contra baixas temperaturas, podendo evitar perdas na produção e prejuízos para os cafeicultores.

Todavia, o sombreamento modifica o microclima do cafeeiro e, dependendo da intensidade e duração, ocasiona mudanças fisiológicas, anatômicas e reprodutivas nas plantas, podendo afetar negativamente a produção (MORAIS, 2003). A produtividade de uma cultura, além de sua expressão genética e outras condições como *status* nutricional, suprimento hídrico, sanidade, controle de ervas daninhas e características do solo, é resultado

da eficiência do aproveitamento da radiação fotossintética. A esse respeito, Fereres (1995) relata que a produção das culturas depende de três processos: interceptação da radiação solar incidente em um nível adequado pelos órgãos fotossintéticos da planta; conversão da energia nas ligações químicas dos produtos fotossintetizados e, por último, translocação dos mesmos nos distintos órgãos da planta. A eficiência será maior na medida em que as condições ambientais (solo e clima) forem adequadas. Segundo Muschler (1997) o sucesso do sombreamento depende principalmente das condições edáficas e da altitude. Em condições ambientais adequadas e com a utilização intensiva de insumos, plantios a pleno sol usualmente sobrepõe-se aos arborizados em termos de produção (BEER et al., 1998). Em contrapartida, o sombreamento pode alterar o ciclo reprodutivo do cafeeiro e beneficiá-lo em termos de redução da bienalidade da produção, longevidade da planta e qualidade dos frutos. Vários estudos têm demonstrado que a altitude e o sombreamento incrementam a qualidade do café à medida que as condições climáticas amenas proporcionam maior período de maturação dos frutos, grãos maiores e superiores acúmulos de açúcares e sólidos solúveis (MUSCHLER, 2001; SALAZAR et al., 2000; VAAST, et al., 2005; MATIELLO, 1999; LUNZ, 2006; MIGUEL et al., 1995).

É importante destacar que além da densidade, outros aspectos referentes ao manejo da sombra, como época e duração, também devem ser considerados e avaliados, a fim de se conhecer os limites do sombreamento e aumentar as possibilidades de práticas de manejo, de tal forma que favoreça a produção e ao mesmo tempo proporcione aos cafeeiros os outros benefícios do sombreamento, anteriormente citados.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do sombreamento artificial em diferentes épocas durante o período de desenvolvimento de gemas reprodutivas (outono/inverno), sobre a produção, crescimento, maturação e tamanho dos frutos de *Coffea arabica*.

6.2 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no campo experimental do IAPAR, em Londrina, PR, cujas coordenadas geográficas são: altitude 610 m, latitude 23° 23' S e longitude 50° 11' W. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), com 82% de argila. O clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 21°C, sendo a média do mês mais quente (janeiro) de 24°C e a média do mês mais frio (junho) 17°C. A precipitação média anual é de 1.500 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (CAVIGLIONE et al., 2000).

Foram avaliados cafeeiros da espécie *Coffea arabica* da cultivar IAPAR 59, originado do cruzamento entre a cultivar Vila Sarchi e o Híbrido de Timor. Suas principais características são: ciclo precoce, porte baixo, grãos de peneira média 16, suscetibilidade a *Cercospora coffeicola*, *Pseudomonas siringae* pv. *garcae* e ao bicho mineiro (*Perileuoptera coffeella*) (IAPAR, 1993).

Os cafeeiros foram plantados em junho de 1993 em um espaçamento de 2,5 m entre linhas e 1,5 m entre plantas, com duas plantas por cova. Em outubro de 2000 foram recepados em decorrência de geadas. Malhas de sombreamento do tipo “sombrite”, com 50% de porosidade e dimensão de 12 x 7,5 m e 2,5 m de altura do solo, foram utilizadas para cobrir os cafeeiros no início dos meses de (Tratamentos): Abril (T1), Maio (T2), Junho (T3), Julho (T4) e Agosto (T5) de 2004, mantendo-se ainda um tratamento sem cobertura (T6). As coberturas foram retiradas simultaneamente no início de outubro do mesmo ano.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Em cada parcela foram cobertas três linhas de cafeeiros com 8 covas cada. Foram marcados e avaliados em dois ramos, oito nós florais produtivos: quatro voltados para

a direção norte e outros quatro para a direção sul, localizados no terço superior de quatro plantas da linha central. As coberturas de todos os tratamentos foram retiradas no dia 01/10/2004. As avaliações foram feitas por meio de observações visuais externas do tamanho, quantidade e coloração dos frutos nas seguintes datas: 20/10/2004, 08/11/2004, 24/11/2004, 05/12/2004, 26/01/2005, 15/03/2005, 29/03/2005, 12/04/2005, 26/04/2005, 10/05/2005, 20/05/2005.

Foi elaborada uma escala fenológica para identificar e classificar as diferentes fases do desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro (Figura 3.1). A fase de crescimento dos frutos foi classificada como: F₁ com frutos de até 3 mm de comprimento; F₂ – 3,1 a 4 mm; F₃ – 4,1 a 5 mm; F₄ – 5,1 a 10 mm; F₅ – 1 a 1,5 cm; F₆ – maior que 1,5 cm (Figura 3.1). Na fase de maturação fisiológica os frutos foram avaliados de acordo com a coloração: Verde – frutos verdes; Cana – frutos amarelados; Cereja – frutos vermelhos ou iniciando a coloração vermelha; Passa – frutos vermelho-escuro; e Seco – frutos desidratados com coloração externa escura (Figura 3.1).

Para avaliação da produção foram colhidas doze plantas por parcela, as quais foram pesadas imediatamente após a colheita para se obter os pesos de café da “roça”. Para determinação do peso de café em coco, foram retirados dois quilos de cada parcela e secados em uma estufa até atingir a umidade de 11%. O café beneficiado foi obtido pelo processo tradicional de retirada da polpa e pergaminho.

Após o beneficiamento foram retiradas amostras de duzentos gramas de grãos de cada parcela, que foram passadas por uma máquina elétrica vibratória contendo peneiras (malhas) de diferentes diâmetros (mm), a saber: 18, 17, 16, 15, 14, 13, grãos moca e “fundo”. Grãos do tipo moca são aqueles que por variabilidade genética originaram grãos uniloculares arredondados. Os grãos classificados com “fundo” foram aqueles não retidos em

nenhuma das peneiras e recolhidos em uma bandeja denominada “fundo” situada na parte basal da máquina. Em seguida pesaram-se separadamente os grãos contidos em cada extrato.

Os graus-dia necessários para que 80% dos frutos atingissem o estágio de cereja foram estimados com dados meteorológicos obtidos da estação meteorológica automática instalada no centro de uma das parcelas e calculados por meio da expressão:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b)$$

Onde, T_i é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$) e T_b é a temperatura base, abaixo da qual os cafeeiros não se desenvolvem, para a qual foi adotado o valor de 10°C (JARAMILLO e GUZMAN, 1984). Iniciou a determinação a partir da antese.

Analisou-se o crescimento e maturação dos frutos por meio de estatística descritiva, determinando as freqüências de cada estágio de desenvolvimento em relação ao total de estádios em cada avaliação. Os dados de número total de frutos, produção e peneiras foram submetidos à comparação de médias pelo teste estatístico de Tukey executado com o software Statistical Analys System (SAS, 1989).

6.3 Resultados e Discussão

Produção

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores médios de produção da safra de 2005 (ano de alta produção), referentes à colheita de doze plantas por parcela. Verifica-se que as produções médias de café da roça, coco e beneficiado não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Isso significa que o sombreamento nas diferentes épocas, durante o desenvolvimento das gemas florais, não interferiu na produção do ano seguinte (2005). Analisando o ciclo fenológico do cafeeiro constata-se que o crescimento dos nós produtivos

ocorreu na estação anterior ao sombreamento, portanto a pleno sol. Diversos trabalhos demonstram a existência de elevada correlação entre a produção e o período de crescimento dos ramos do ano imediatamente anterior (GOMEZ, 1977; CLOWES e ALLISON, 1982, CANNELL, 1985; CASTILLO e LOPEZ, 1966). 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. Os dados de Morais et al. (2006) confirmam este resultado. Segundo Majerowicz (1984) a produção depende da interação entre o número de nós formados na estação de crescimento e as condições ambientais favoráveis à diferenciação das gemas florais. Fereres (1995) relata que a produção das culturas depende da interceptação da radiação solar incidente em um nível adequado pelos órgãos fotossintéticos e a eficiência do aproveitamento da radiação fotossintética pela planta. Analisando os resultados, pressupõe-se que a quantidade de radiação que incidiu sobre os cafeeiros sombreados durante a permanência da cobertura foi suficiente para não prejudicar a produtividade, uma vez que também não afetou o desenvolvimento das gemas florais, floração e fotossíntese das plantas (Figuras 5.2 e 5.4 e Tabela 5.2). Jaramillo et al. (2003) trabalhando com sombreamento artificial durante todo o ciclo reprodutivo do cafeeiro, encontraram maior produção em plantas sob 48% de bloqueio da radiação fotossinteticamente ativa com menor quantidade de adubo, indicando que mesmo em condições de menor disponibilidade de luz, esta foi suficiente para promover concentrações adequadas de fitormônios na indução floral e realizar a fotossíntese em níveis que supriram à menor demanda de carboidratos dos frutos.

Não há relatos na literatura sobre efeitos do sombreamento durante a diferenciação e formação da gema floral na produção do ano seguinte como investigado neste trabalho, o que dificulta a comparação dos resultados. Todavia, existem diversos trabalhos que mostram a influência do sombreamento no processo produtivo dos cafeeiros. Lunz (2006) em experimento de cafeeiros consorciados com seringueiras em Piracicaba, SP, encontrou

maiores produtividades de café com o incremento de irradiância até um limite de 70%. Em estudos de cafeeiros sombreados artificialmente Carelli et al. (2001) observaram redução na produção acumulada de dois anos em condições moderadas de sombreamento (50% e 30%). No México, Soto-Pinto et al. (2000) não observaram redução na produtividade de café por planta, até um limite de 50% de sombreamento. Sistemas de cultivos arborizados e consorciados com atenuações de aproximadamente 20% de radiação solar global não produziram efeitos negativos na produção de café (CAMARGO e PEREIRA, 1994; CARAMORI et al., 1996; PEETERS et al., 2002; PEZZOPANE, 2004). Por outro lado, diversos estudos comprovam que o sombreamento excessivo por períodos prolongados reduz significativamente a produção (MORAIS et al., 2006; LAGEMANN e HEVELDOP, 1983; CAMARGO, 1990).

Tabela 6.1. Produção de café (kg) da safra de 2005, sombreados com malhas de sombrite de 50% de porosidade no início de Abril (T1), Maio (T2), Junho, (T3), Julho (T4) e Agosto (T5) de 2004, até início de outubro de 2004. T6 refere-se ao tratamento sem sombreamento. Londrina, PR.

Tratamento	Café da roça	Café em coco	Café beneficiado
T1	50,39 a	26,45 a	12,37 a
T2	53,51 a	21,73 a	12,45 a
T3	53,94 a	24,85 a	13,84 a
T4	56,07 a	26,27 a	14,63 a
T5	54,19 a	26,91 a	14,64 a
T6	52,19 a	25,20 a	13,93 a
CV%	13,07	15,20	13,97
DMS	16,03	8,81	4,38

Médias com a mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Crescimento dos frutos

O número de frutos nos diferentes estádios de crescimento, avaliados no período de outubro de 2004 a janeiro de 2005, é apresentado na Figura 6.1. A média dos tratamentos para o número total de frutos foi de 1248 em 20/10 e 1652 em 09/11, ou seja, houve um acréscimo médio de 404 frutos por tratamento. No dia 20/10 foram quantificadas 383 flores por tratamento, em média. Este aumento do número de frutos correspondeu ao segundo florescimento. O cafeeiro tem o crescimento vegetativo e reprodutivo simultâneo, ou seja, a medida que os ramos crescem as gemas se diferenciam, ocorrendo portanto mais de uma florada, e conseqüentemente, frutos em diferentes estádios no mesmo ramo e até no mesmo nó, devido à competição por nutrientes. Na avaliação do dia 24/11 o número de frutos estabilizou (média de 1624), já nas avaliações seguintes, nos dias 05/12 e 26/01, a média dos tratamentos diminuiu para 1587 (2%) e 1484 (9%), respectivamente. A abscisão de frutos é um aspecto comum no cafeeiro, mas ainda não totalmente esclarecido. Cannell (1971) associou o fenômeno ao déficit de carboidratos. Almeida et al. (1982) verificaram que a quantidade de frutos caídos entre 75 e 90 dias após o florescimento foi diretamente proporcional aos níveis de desfolha. Clowes e Wilson (1977) sugeriram que a abscisão de frutos pode ser causada por um desequilíbrio hormonal. Opile analisou o conteúdo endógeno de fitormônios ao longo do desenvolvimento dos frutos de cafeeiros no Quênia e observou que nos estádios de desenvolvimento dos frutos correspondentes ao F₃ e F₄ o nível de giberelinas foram baixos e o ácido abscísico alto. O autor supôs que a combinação de fitormônios poderia ser responsável pela queda de frutos, mesmo em condições favoráveis de umidade. Segundo Rena e Maestri (1985) os frutos comumente estão sujeitos a cair cerca de 8 a 12 semanas depois do florescimento especialmente sob o efeito de tensões hídricas e baixas disponibilidades de carbono. Houve um período de déficit hídrico e de altas temperaturas nessa fase de desenvolvimento do fruto (Figura 3.2), além da incidência de cercosporiose,

doença causada pelo fungo *Cercospora coffeicola*, a qual faz com que os frutos passem direto do estágio verde para o seco, sem passar pelos estádios intermediários de maturação. Assim, esses fatores podem ter provocado queda precoce dos frutos observados neste trabalho.

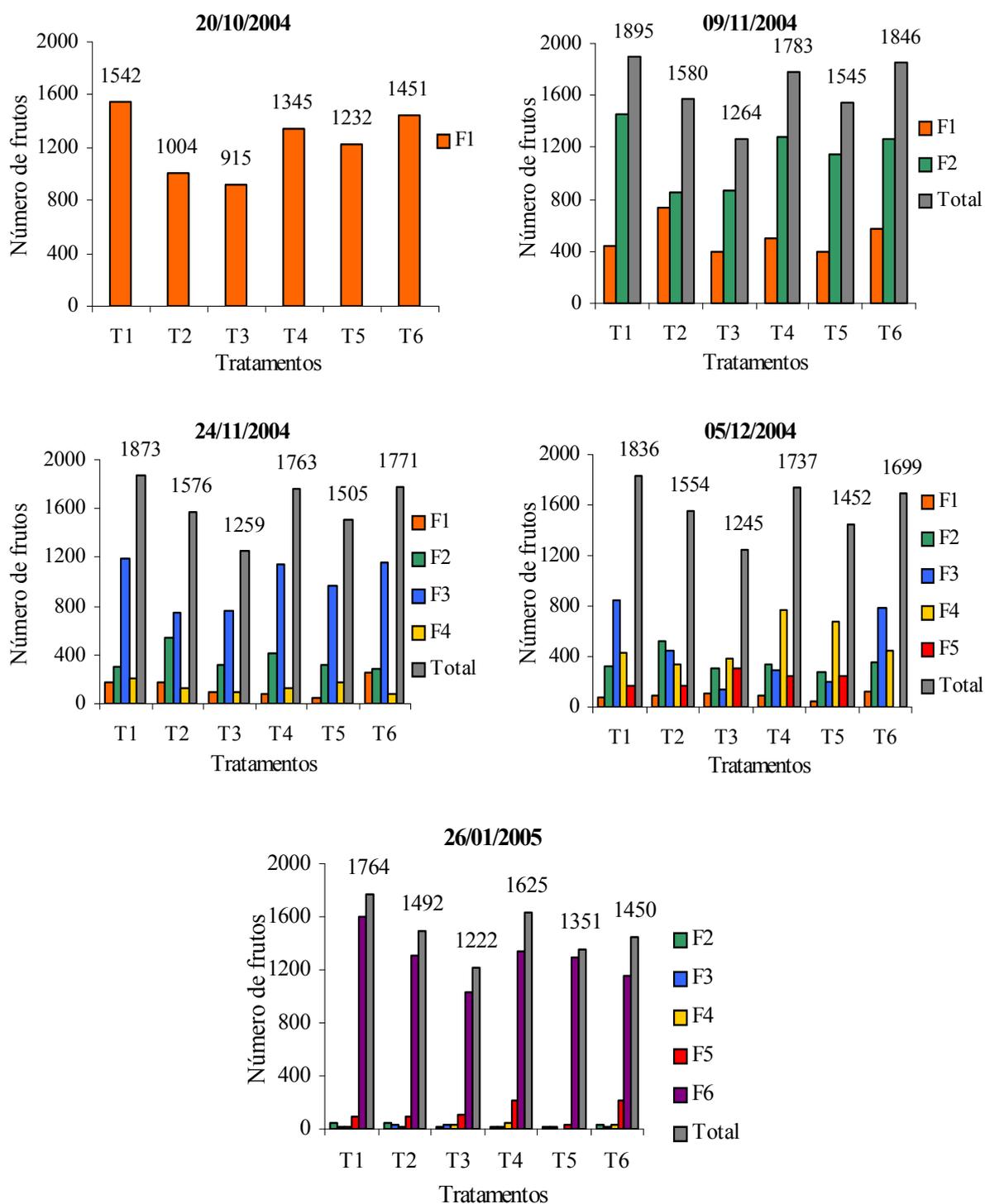


Figura 6.1. Quantidade de frutos em diferentes estádios de crescimento (F_1 a F_6) presentes em ramos de *Coffea arabica* sombreados no início de Abril (T1), Maio (T2), Junho, (T3), Julho (T4) e Agosto (T5) de 2004, até início de outubro de 2004. T6 refere-se ao tratamento sem sombreamento. Londrina, PR, 2004-2005.

Observa-se que na primeira avaliação (20/10) todos os frutos estavam no estágio F₁, concernentes à primeira florada. No dia 09/11 havia frutos nos estádios F₁ e F₂, referentes à segunda e primeira floradas, respectivamente, ou seja, seis semanas após o primeiro florescimento todos os frutos não tinham diâmetros maiores que 4 mm. Esses resultados condizem com Cannell (1971), Leon e Fournier (1962) e Suarez (1979) os quais observaram que durante as 5-6 semanas posteriores à antese os frutos exibem um crescimento lento. Os frutos são de consistência gelatinosa e em seu interior não há formação do endosperma (semente) e predomínio de tecido tegumentoso (SALAZAR et al., 1994). Kumar (1979) argumentou que os frutos são incapazes de competir por nutrientes com o crescimento vegetativo rico em giberelinas. A expansão dos frutos só iniciou depois dos “flush” de crescimento dos ápices, que segundo Majerowicz (1984) ocorre no período de 15/10 a 15/11, em Campinas, SP.

No dia 24/11 apenas duas semanas após a avaliação anterior já havia frutos nos estádios F₃ e F₄. A partir desse estágio os frutos se expandem rapidamente até atingirem seu tamanho máximo, em torno da 16ª semana (F₆) (SALAZAR et al., 1994). Nesta época o conteúdo dos frutos é muito aquoso (85% de água), mas este é gradativamente substituído pelo endosperma, com a formação da semente propriamente dita (CANNELL, 1971; GOMEZ, 1977; SALAZAR et al., 1994). Os frutos no estágio F₁ e F₂ referem-se àqueles que não se desenvolveram e a eventuais flores que apareceram entre as avaliações.

Na avaliação do dia 05/12 não foi observada tendência de concentração de um estágio de crescimento entre os tratamentos. Isso ocorreu devido aos vários florescimentos associados à queda dos frutos e competição por nutrientes entre os frutos, fazendo com que frutos da mesma planta, mesmo ramo e até mesmo nó, tivessem tamanhos diferentes. Na avaliação do mês de janeiro a maioria dos frutos já estava na fase final de enchimento (F₆), em todos os tratamentos.

Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o número total de frutos e também não foi evidenciada nenhuma tendência de concentração de determinado estágio de crescimento do fruto entre os tratamentos. Isso possivelmente ocorreu porque durante essa fase todas as plantas estavam na condição de pleno sol, uma vez que as coberturas foram retiradas logo após o florescimento, em outubro. Possivelmente a interferência do sombreamento nos frutos se dá por sombreamento direto sobre os cafeeiros. Sugere-se, para verificação desta hipótese, que novos estudos sejam realizados com cobertura em períodos maiores.

Maturação dos frutos

De acordo com o índice de maturação expresso na Figura 6.2 observa-se que houve maturação antecipada dos frutos dos cafeeiros. Apesar da variedade IAPAR 59 ser classificada como precoce a maturação dos frutos e a colheita ocorrem normalmente a partir do final de junho e neste experimento ocorreu no final de maio. Isso aconteceu devido às altas temperaturas e deficiência hídrica registrada no final do ciclo (Figuras 3.2 e 3.3). Segundo Kumar (1979) o tempo necessário para a completa maturação dos frutos varia de acordo com as condições climáticas vigentes e a constituição genética do cafeeiro.

Observando a evolução na maturação dos frutos (Figura 6.2) nota-se uniformidade entre os tratamentos em todas as avaliações. Isso indica ausência de influência do sombreamento artificial sobre a maturação dos frutos nos diferentes períodos durante o desenvolvimento da gema floral. Vários autores observaram que a maturação ocorre mais lentamente em frutos de cafeeiros sombreados, comparado com cafeeiros cultivados a pleno sol (MATIELLO e FERNANDES, 1989; MIGUEL et al., 1995; MATIELLO, 1999; MUSCHLER, 2001; MORAIS, 2003; VAAST et al., 2005; LUNZ, 2006). Todavia, em todos esses trabalhos o sombreamento teve influência direta no crescimento e maturação dos frutos,

ou seja, o estágio de frutificação ocorreu sob sombra, diferente deste experimento em que as coberturas foram retiradas após a floração.

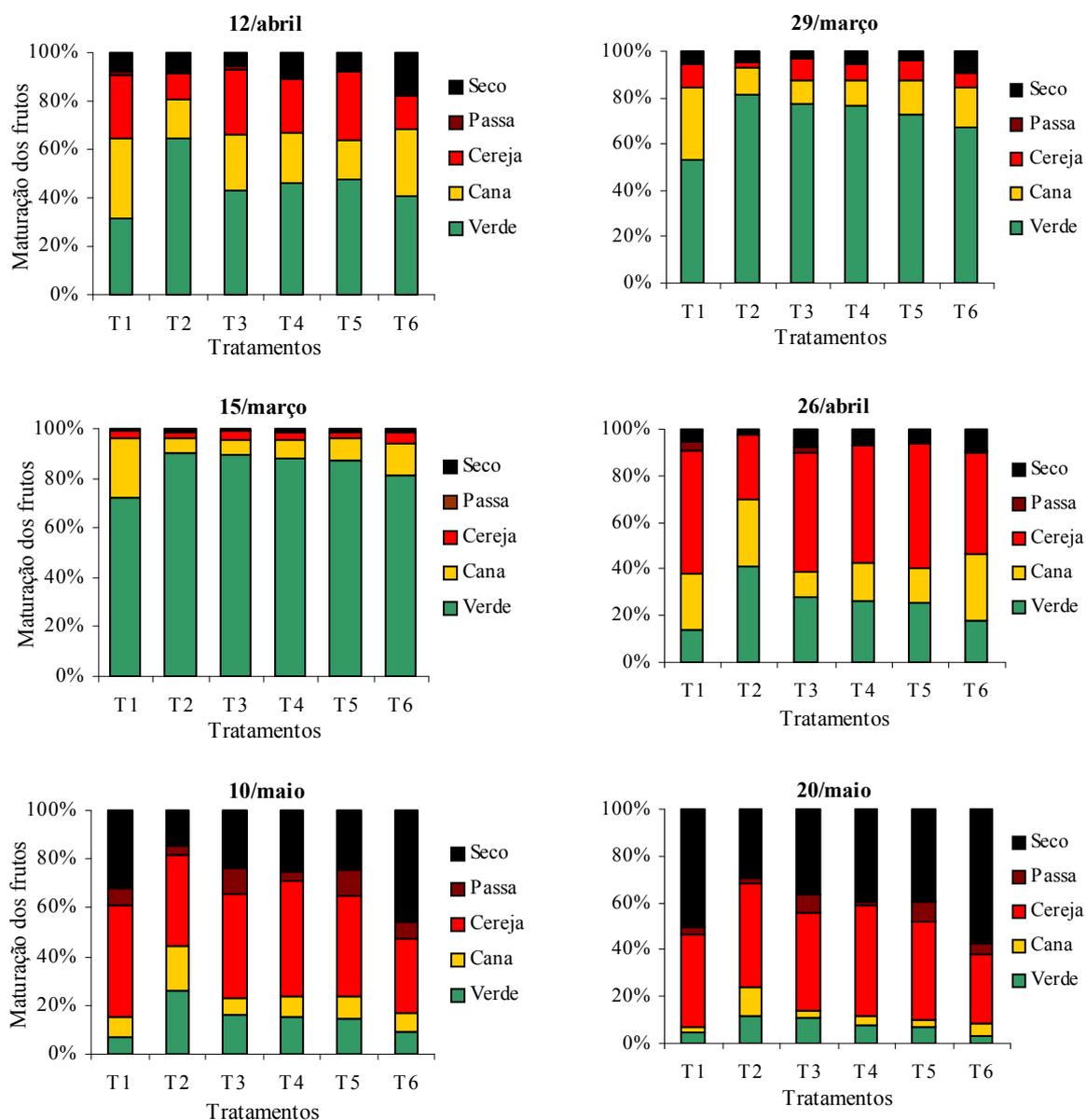


Figura 6.2. Maturação de frutos presentes em ramos de *Coffea arabica* sombreados no início de Abril (T1), Maio (T2), Junho (T3), Julho (T4) e Agosto (T5) de 2004, até início de outubro de 2004. T6 refere-se ao tratamento sem sombreamento. Londrina, PR, 2005.

Graus-Dia

Desde a floração até a maturação dos frutos foram acumulados 2929 graus-dia, ou seja, foi necessário esse total de unidades térmicas totalizadas em 219 dias para que os

frutos se desenvolvessem e atingissem a maturação. Finalizou-se esta contagem quando cerca de 80% dos frutos estavam maduros. Majerowicz (1984) em Campinas, SP, encontrou 222 dias, aproximadamente, para que os frutos da cultivar Catuaí Vermelho chegassem à maturação. Jaramillo e Guzman (1984) estudaram a relação entre a temperatura e o crescimento do fruto do café Caturra e encontraram o acúmulo de 2560 e 2445 unidades térmicas, desde duas floradas até a maturação. Salazar et al. (1994) descreveram que, da floração à maturação, 2836 graus-dia e 240 dias foram necessários para o cafeeiro completar esse período do desenvolvimento. Em estudos desenvolvidos em Campinas com a cultivar de café Mundo Novo, Pezzopane et al. (2005) encontraram em 14 cultivos entre o período de 1971 e 2004 variação da duração do período florescimento-colheita de 202 a 250 dias com média de 221 dias. A variação do acúmulo de unidades térmicas nos diferentes experimentos ocorre em função do estágio de maturação, local do estudo, condições climáticas do período da avaliação e ciclo da cultivar. Quanto ao número total de dias do subperíodo (219 dias), observa-se que a maturação foi acelerada quando comparado aos demais trabalhos mencionados. Isso ocorreu devido às altas temperaturas e deficiência hídrica registrada no final do ciclo (Figura 3.2 e 3.3).

Tamanho dos grãos

Em todos os tratamentos (Tabela 6.2) a maior parte dos grãos de café ficou retida na peneira média (grãos com 15 a 16 mm de diâmetros), característica própria da cultivar avaliada (IAPAR 59). Isso mostra que não houve efeito dos tratamentos para tamanho de grão do café. Matiello e Fernandes (1989), Matiello (1999), Muschler (2001), Manoel et al. (2002), Vaast et al. (2005) e Lunz (2006) observaram grãos maiores em cafeeiros sombreados durante todo o ciclo reprodutivo, em relação àqueles cultivados a pleno sol. Tais resultados indicam que o microclima gerado pelo sombreamento tende a favorecer o aumento no

tamanho dos grãos. Lunz (2006) relata que provavelmente isto está associado à menor produtividade dos cafeeiros sombreados que resultam em grãos de maior tamanho. Ao contrário, a elevada carga de frutos nos tratamentos com grande disponibilidade de irradiância promove competição por fotoassimilados entre eles, reduzindo seu tamanho e afetando sua qualidade. O prolongamento do período de maturação dos frutos também contribui para o enchimento dos grãos resultando em maior tamanho. Tais características de diferenças na produtividade e prolongamento de maturação entre os cafeeiros sombreados e cultivados a pleno sol não foram verificadas neste trabalho. É possível que o tamanho dos grãos tenha influência direta do sombreamento durante o período de formação dos frutos, condição que não ocorreu neste trabalho.

Tabela 6.2. Caracterização do tamanho dos grãos beneficiados (g) de cafeeiros sombreados no início de Abril (T1), Maio (T2), Junho, (T3), Julho (T4) e Agosto (T5) de 2004, até início de outubro de 2004. T6 refere-se ao tratamento sem sombreamento. Londrina, PR.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	CV%	DMS
Peneira grande (18 e 17)	12,92 a	12,15 a	12,92 a	8,15 a	14,37 a	11,12 a	40,04	10,98
Peneira média (16 e 15)	106,15 _a	98,78 a	109,65 a	96,44 a	102,29 a	85,89 a	12,18	27,96
Peneira pequena (14 e 13)	41,69 a	47,57 a	39,32 a	45,35 a	39,95 a	48,92 a	17,23	17,34
Grãos moca	18,91 a	17,07 a	18,83 a	23,15 a	25,05 a	18,21 a	41,31	19,18
Fundo	20,91 a	28,02 a	18,06 b	26,13 a	20,96 a	33,54 a	26,03	14,71

Médias com a mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O sombreamento produz modificações no microclima dos cafeeiros e dependendo do período de sombreamento pode influenciar na frutificação. O balanço hídrico tem grande importância no crescimento dos frutos, pois esta fase é sensível à deficiência hídrica. Na maturação a temperatura é o fator que atua mais fortemente, antecipando ou prolongando sua duração, com influência direta no tamanho dos grãos. Práticas de sombreamento direto sobre os frutos melhoram o balanço hídrico e amenizam as

temperaturas, promovendo frutos maiores e com maturação prolongada, características que incrementam a qualidade.

A utilização de espécies consorciadas depende de novos estudos para avaliação de outros fatores que causam competição, como água e nutrientes.

6.4 Conclusão

Pode-se utilizar o sombreamento de 50% de cafeeiros durante o período de desenvolvimento de gemas florais no Norte do Paraná (abril a setembro) sem que a competição por luz afete a produção, tamanho dos grãos e maturação dos frutos.

Referências

ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A.E. Efeito da densidade foliar sobre a queda de frutos e a produção do cafeeiro. In: COLÓQUIO DA ASSOCIAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL DO CAFÉ, 10., Salvador, 1982. **Resumos...** Salvador, 1982. p.44-45.

BEER, J.; MUSCHELER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 38, p.139-164, 1998.

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

CAMARGO, A. P.; 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, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994.

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

CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: A review. **Journal of Coffee Research**, Chikmagalur, v.5, n.1/2, p.7-20, 1975.

CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee beans yield. **Kenya Coffee**, Nairobi, n. 41, p.245-253, 1976.

CANNELL, M. G. R. Effect of the presence of fruits on net photosynthesis. **Annual Report Coffee Research Station**, Ruiru, 1971, p.41-42.

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

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; ALFONSI, E. L. Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. **Resumos...** Vitória: EMBRAPA, 2001, p.16.

CASTILLO, Z. J.; LÓPEZ, A. R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del café. **Cenicafé**, Chinchiná, n.17, p.51-60, 1966.

CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P. H.; KIIHL, L. B.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, 2000. IAPAR. (CD-ROM).

CLOWES, M. St. J.; ALLISON, J. C. S. A review of the coffee plant (*Coffea arabica* L.), its environment to coffee – growing in Zimbabwe. **Journal Agriculture of Research**, n. 20, p. 1-19, 1982.

CLOWES, M. St. J.; WILSON, J. H. H. The growth and development of lateral branches of *Coffea arabica* L. in Rhodesia. **Journal of Agriculture Research**, n.15, p.171-185, 1977.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412p.

FERERES C., E. Productividad de los sistemas de cultivo en invernadero. In: SIMPOSIUM IBEROAMERICANO SOBRE APLICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS EM LAS TECNOLOGIAS AGRÁRIAS, 1., 1995, Almeria. **Actas...** Almeria: FIAPA/CEPLA, 1995. p. 287-296.

GOMEZ G., L. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del café. **Cenicafé**, Chinchiná, v.28, n. , p.3-17, 1977.

IAPAR. **Café IAPAR 59**. Londrina: IAPAR, 1993 (Folder).

JARAMILLO B., C.; SANTOS, R. H. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Desenvolvimento reprodutivo e produção de cafeeiros sob níveis de sombreamento e adubação. In. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, BA. **Resumos...** Porto Seguro: EMBRAPA, 2003, p.285-286.

JARAMILLO, R. A; GUZMAN, M. O. Relación entre la temperatura y el crecimiento de *Coffea arabica* L. var. Caturra. **Cenicafé**, Chinchiná, v.35, n.3, p.57-65, 1984.

KUMAR, D. Some aspects of plant-water-nutrient relationship in *Coffea arabica* L. **Kenya Coffee**, Nairobi, v.43, n. 510, p.9-47, 1979.

LAGEMANN, J.; HEUVELDOP, J. Characterization and evaluation of agroforestry systems: the case of Acosta-Puriscal, Costa Rica **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n.1, p.101-115, 1983.

LEON, J.; FOURNIER M., J. L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. **Turrialba**, San Jose, v.12, n.2, p.65-74, 1962.

LUNZ, A. M. P. **Crescimento e Produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 94p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MAJEROWICZ, N. **Estudo da diferenciação e crescimento de gemas florais de *Coffea arabica* L.; observações sobre antese e maturação dos frutos**. 1984. 237p. Dissertação. (Mestrado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

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 sistema orgânico de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Caxambu: MAA/Procafé, 2002. p.299-300.

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

MATIELLO, J. B.; FERNANDES D. R. Observações sobre arborização de cafezais em regiões de chapada, na Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1989. p. 238-240.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. R.; GUIMARÃES, E. S. Efeitos da arborização de cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e na umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21., 1995, Caxambu, MG. **Trabalhos apresentados...** MARA/Procafé, Caxambu, 1995, p.55-57.

MORAIS, H. **Efeito do sombreamento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) com guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp.) no norte do Paraná**. 2003. 118p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C.; KOGUISHI, M. S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.763-770, 2006.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.85, p.31-139, 2001.

MUSCHLER, R. G. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusion. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 18., 1997, San José Costa Rica. **Anais...** San José, 1997, p.471-476.

OPILLE, W. R. Hormonal relations in fruit growth and development of *Coffea arabica* L. **Kenya Coffee**, Nairobi v.44, n.520, p.13-21, 1979.

PEETERS, L. Y. K.; SOTO-PINTO, L.; PERALES, H.; MONTOYA, G.; ISHIMI, M. Coffee production, timber and firewood in traditional and Ingá-shaded plantations in Southern México. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.82, p.1-13, 2002.

PEZZOPANE, J. R. M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana ‘Prata Anã’**. 2004. 136p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; FAZUOLI, L. C. Temperatura-base e graus-dia com correção pela disponibilidade hídrica para o cafeeiro “Mundo Novo” no período florescimento-colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas, SP. **Resumos...** SBA/UNICAMP, Campinas, 2005, p.5.

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

SALAZAR G., M. R.; CHAVES, C., B.; RIAÑO H., N. M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Crecimiento del fruto de *Coffea arabica* var. Colômbia. **Cenicafé**, Chinchiná, v.45, n.2, p.41-50, 1994.

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

SAS Institute Inc. **SAS/STAT User’s Guide, Version 6**. 4. ed. Cary, NC: SAS Institute, 1989. 943p.

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

SUAREZ S. J. V. Influencia de la precipitación em el crecimiento del fruto de café. **Avances Técnicos Cenicafé**, Chinchiná, n.89, p.1-4, 1979.

VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GENARD, 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**, v.86, n.2, p. 197-204, 2005.

7 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados das avaliações do efeito do sombreamento artificial no desenvolvimento reprodutivo de *Coffea arabica*, com malhas de sombrite de 50% durante o período de abril a setembro, época correspondente ao desenvolvimento da gema floral, permitiram as seguintes conclusões:

- a) O desenvolvimento reprodutivo de *C. arabica* pode ser subdividido em quatro grandes fases possíveis de serem acompanhadas por inspeção visual: Desenvolvimento da gema floral (G), Floração (FL), Frutificação (F) e Maturação (M). As fases G e F podem ser segmentadas em G₁ até G₆ e F₁ até F₆, tendo como parâmetros o tamanho das gemas e dos frutos. Na maturação os frutos foram classificados pela coloração, sendo: M₁-verde, M₂-verde-cana, M₃-vermelho-claro (cereja), M₄-vermelho-escuro (passa) e M₅-preto (seco);
- b) O sombreamento de cafeeiros reduziu em média 60% dos níveis de radiação solar global e fotossintética, aumentou a umidade relativa do ar, atenuou as temperaturas médias e máximas e impediu a queda acentuada da temperatura em noites frias. Assim, reduziu os riscos de danos causados por geadas moderadas, temperaturas altas e déficit hídrico;
- c) Cada estágio de desenvolvimento das gemas florais dos cafeeiros (G₁ a G₆) tem um comportamento peculiar e apresentou períodos de alta e baixa atividade, porém o sombreamento não influenciou no aparecimento e desenvolvimento das gemas florais.
- d) Não houve diferenças de número de flores e datas de florescimento nos cafeeiros sob sombreamento e cultivados a pleno sol;
- e) As taxas fotossintéticas dos cafeeiros sombreados em diferentes períodos foram semelhantes estatisticamente aos não sombreados;

- f) O sombreamento não influenciou na produção, crescimento, maturação e tamanho dos frutos dos cafeeiros.

Portanto conclui-se que é possível utilizar o sombreamento de cafeeiros com até 50% de sombra artificial durante o outono e inverno, para evitar danos provocados por geadas moderadas, sem que haja competição por luz e prejuízos na produção. A utilização de espécies consorciadas depende de novos estudos para avaliação de outros fatores que causam competição, como água e nutrientes.