

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE
CULTIVARES DE *Coffea arabica* L.
SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE
RADIÇÃO SOLAR**

NAIR LEONARDA DE SOUZA

2001



51233 MFN
36ND3

NAIR LEONARDA DE SOUZA

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE CULTIVARES DE
Coffea arabica L. SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE
RADIÇÃO SOLAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de mestrado em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de mestre

Orientador

Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2001

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Souza, Nair Leonarda de

Comportamento fisiológico de cultivares de *Coffea arabica* L. submetidos a diferentes níveis de radiação solar / Nair Leonarda de Souza. – Lavras : UFLA, 2001.

41p. : il.

Orientador: Luiz Edson Mota de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Nível de radiação. 3. Fotossíntese. 4. Crescimento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-581.13342
-633.73

NAIR LEONARDA DE SOUZA

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE DIFERENTES CULTIVARES
DE *Coffea arabica* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES NÍVEIS DE
RADIÇÃO SOLAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de mestrado em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de mestre


APROVADA em Segunda-feira, 18 de Dezembro de 2000

Profª Drª Angela Maria Soares

UFLA

Pesquisador Dr Paulo Tácito Gontijo Guimarães

EPAMIG



Prof. Dr. Luiz Edson Moça de Oliveira

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus, por mais uma etapa vencida.

AGRADEÇO

**Aos meus pais, José Leonardo e Zulmira Pereira;
irmãos Jair, Jaime e Júlio; cunhadas Alessandra e Luciana;
Sobrinhos Bruno e Juliana**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meu pais Seu Leonardo e Dona Zulmira pelo apoio e estímulo durante minha formação profissional, todo o meu amor e agradecimento.

Ao Prof. Luiz Edson Mota de Oliveira pela orientação sob todos os aspectos, apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de formação profissional.

À Fundação de Apoio a Pesquisa no Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) através do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café, pela concessão da bolsa de estudo.

A professora Dra Ângela Maria Soares, ao pesquisador Paulo Tácito Gontijo Guimarães e pelas sugestões e participação na defesa de tese.

Em especial ao professor Dr. Nelson Delú Filho pelas valiosas contribuições, auxílio na redação final e amizade.

Aos professores José Donizete Alves, Renato Paiva e Amauri Alves Alvarenga pela amizade e pelos conhecimentos que enriqueceram nossos ensinamentos.

Aos meus irmãos Jair, Jaime e Julio pelo imenso apoio, as minhas cunhadas Alessandra e Luciana pela receptividade e amizade. Aos meus queridos sobrinhos Bruno e Juliana pelas alegrias em nossas vidas.

Aos funcionários do Depto de Biologia , Izonel, Dartagnam, Leninha, Mauro, Joel e Odorêncio pela amizade.

Aos bolsistas de iniciação científica, Sabrina Leandra, Giandré, Daniel Figueiredo, e João Paulo pela inestimável amizade e indispensável ajuda nas análises dos experimentos.

Ao Dr Francisco Dias Nogueira e família, pelo imenso incentivo, apoio e carinho.

Aos amigos em especial Evaristo Gomes , Rafael Vasconcelos e Rupert Jr. pelo apoio, amizade e convivência imprescindíveis durante a execução deste trabalho.
Aos amigos Marcelo e Marina, Patricia Venturino, José Carlos, Soami, Cintia, Rubia, Darlan, Breno, Gaby, Cidália, Simone Novaes, Alessandro, Marcelo Murad, Carlos Spaggiari , Edna, Luciano, Silvia, Erivaldo e Cláudio, pelo apoio e amizade.

Aos amigos distantes Nestor Saavedra, Paulo Arthur, Bárbara, Magrão, Rodrigo Teixeira, Leonardo pelos momentos de alegria.

As amigas Miriam Donola, Cláudia Rita, Dr^a Maria Aparecida e Cristine Pavani pela sincera amizade.

Aos professores Gilberto Lage e Giovanni Francisco Rabelo pela amizade e apoio técnico.

As amigas de república Juliana pelo apoio e amizade e em especial a Anna Lygia pela década de convivência.

A Dona Daise e Janaina pelos cafezinhos e pela amizade sincera.

Ao meu Tio João Miranda pelo apoio e carinho.

Ao querido amigo Dr. Gilberto dos Santos Seppa pelo apoio e carinho.

Finalmente, agradeço a Deus, por todas as pessoas que, de modo direto ou indireto, cruzaram meu caminho, contribuindo para meu amadurecimento espiritual e profissional.

MEU MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Caracterização do Ambiente.....	10
3.2 Área Foliar Específica.....	11
3.3 Fotossíntese Potencial.....	11
3.4 Clorofila a, b e total.	12
3.5 Trocas gasosas.....	12
3.6 Potencial Hídrico.....	13
3.7 Fluorescência.....	13
3.8 Análises Químicas.....	13
3.9 Atividade da Redutase do Nitrato.....	14
3.10 Açúcares Redutores.....	14
3.11 Açúcares Solúveis Totais.....	15
3.12 Proteínas Solúveis Totais.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1. Caracterização do ambiente.....	16
4.2 Densidade de Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativo.....	18
4.3 Área Foliar Específica.....	19
4.4 Diâmetro do Caule.....	20
4.5 Altura das Plantas.....	21
4.6 Potencial Hídrico e Déficit de Pressão de Vapor.....	22
4.7 Temperatura Foliar, Transpiração, Condutância Estomática e Fotossíntese Líquida.....	23

4.8 Fluorescência.....	26
4.9 Fotossíntese Potencial.....	27
4.10 Relação de Clorofila a/b.....	28
4.11 Atividade da Redutase do Nitrato.....	29
4.12 Teores de Aminoácidos Livres.....	31
4.13 Teores de Proteínas.....	32
4.14 Açúcares Redutores e Solúveis Totais.....	33
5 CONCLUSÕES.....	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

RESUMO

SOUZA, Nair Leonarda de. **Comportamento fisiológico de cultivares de *Coffea arabica* L submetidos a diferentes níveis de radiação solar.** Lavras: UFLA, 2000. 41p. (Tese – Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal)*.

Com este trabalho objetivou-se obter informações básicas sobre o comportamento fisiológico de mudas de diferentes cultivares de *Coffea arabica* L (Catuaí, Icatu, Rubi e Acaiá) submetidas a diferentes níveis de interceptação solar, que possam contribuir para o desenvolvimento de tecnologia de cultivo desses cultivares em sistemas isolados e/ou consorciado. Temperaturas e luminosidade elevadas podem não favorecer o desenvolvimento de plantas de café, e em condições de consórcio e plantios adensados, esses fatores são mantidos em níveis inferiores, mas suficientes para a espécie desenvolver e produzir bem. O experimento foi conduzido no setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras. Os cultivares selecionados foram aqueles de maior comercialização da região sul de Minas Gerais, sendo obtidas mudas de 7 meses de idade dos cultivares Acaiá Cerrado MG 1474, Catuaí IAC 99, Icatu Amarelo IAC 3282 e Rubi MG 1192. Essas mudas foram obtidas em um viveiro de mudas com 7 meses de idade. Elas permaneceram em um ambiente de 50% de radiação por um período de 30 dias, sendo, em seguida, transplantadas duas plantas por vaso (colunas de pvc) com aproximadamente 25 cm de diâmetro e contendo um volume de 17,5 L de terra com substrato-padrão. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente causalizado, e cada tratamento foi constituído de três repetições por cultivares (cada repetição contendo uma coluna de pvc com duas plantas). Verificou-se que as plantas em casa-de-vegetação (36% de radiação) apresentaram um melhor desenvolvimento, sendo obtidas nessas condições, baixa transpiração e condutância estomática, a princípio, devido à alta temperatura, o que proporcionou as menores taxas de fotossíntese líquida e fotossíntese potencial.

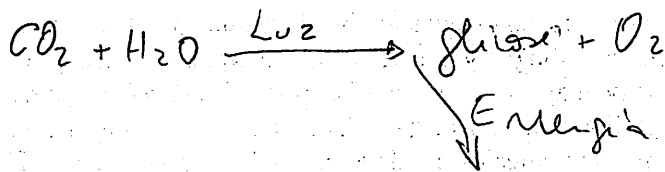
*Comitê Orientador: Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira – UFLA (Orientador); Profª Drª Angela Maria Soares – UFLA; Profº Dr. Nelson Delú Filho – UFLA,

ABSTRACT

SOUZA, Nair Leonarda de . **Physiological behavior of Coffea arabica L. cultivars submitted to different levels of solar radiation** . Lavras: UFLA, 2000. 41p. (Thesis - master of science in Agronomy / Plant physiology)

This work has been designed to obtain basic information on the physiological behavior of seedlings of different cultivars of Coffea arabica L (Catuaí, Icatu , Rubi and Acaia) submitted to different levels of solar interception, which can come to contribute to the development of cultivation technology of those cultivars in single and/or mixed systems . Both high temperatures and luminosity may not favor coffee bush development , under mixing and thickened planting conditions , these factors are held in lower levels but which are enough for the species to develop and produce well . The experiment was conducted in the sector of Plant Physiology of the Biology department of the Federal University of Lavras . The cultivars selected were those of greatest commercialization of the South of Minas Gerais region , being obtained 7 month old seedlings of the cultivars Acaia Cerrado MG 1447, Catuaí IAC 99 , Icatu Amarelo IAC 3282 and Rubi MG 1192. They remained in a 50% radiation environment for a 30 -day period , next two plants were transplanted per plot (PVC columns) about 25 cm in diameter and containing a volume of 17.5 L of earth with a standard substrate. The experimental design utilized was the completely randomized , each treatment being made up of three replicates per cultivar (each replicate containing a pvc column with two plants). It was found that the plants in greenhouse (36% of radiation) presented a better development where under these conditions were obtained poor transpiration and stomatal conductance , at first due to the high temperature which provided the lowest rates of net potential photosynthesis and potential photosynthesis.

* Guidance Committee: Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira – UFLA (adviser); Prof^ª Dr^ª Angela Maria Soares – UFLA; Prof^º Dr. Nelson Delú Filho – UFLA,



1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro ocupa papel de elevada importância na agricultura e na economia brasileira. O café é o mais importante commodity agrícola de exportação no mundo, e dentre os países produtores de café, o Brasil ocupa posição de destaque, sendo o principal produtor, maior exportador e segundo mercado consumidor do mundo.

Dentro do gênero *Coffea* existem duas espécies comercialmente importantes: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. No Brasil, cerca de 82% da produção são provenientes de lavouras formadas com cultivares da espécie *C. arabica* L. e 18% de cultivares da espécie *C. canephora* (Melo, Bartholo e Mendes, 1998).

O estado de Minas Gerais participa de forma importante nesse cenário, com aproximadamente 46% de área produtiva, sendo as cultivares Mundo Novo e Catuaí os mais cultivados e distribuídos no sul de Minas, Zona da Mata, Triângulo Mineiro e Vale do Jequitinhonha, regiões que permitem ao País expressar significativamente seu potencial de produção.

Embora o cafeeiro seja normalmente cultivado a pleno sol, com produções satisfatórias, vem apresentando problemas, como a superprodução e conseqüente esgotamento das plantas, até que o auto-sombreamento diminua esse efeito.

A espécie *Coffea arabica* é originalmente uma espécie adaptada a sombra, e plantas sombreadas apresentam taxas fotossintéticas substancialmente superiores àquelas mantidas em plena luz solar. O cafeeiro é mais adaptado a plantios adensados, onde o sombreamento mútuo proporciona baixa intensidade luminosa e baixas temperaturas foliares, condições ideais para a fotossíntese e um crescimento mais eficiente, o que possibilita a existência potencial de compatibilidade vegetativa favorável para a consorciação dessa cultura perene.

A variação de produção entre genótipos pode estar associada com as características morfológicas da planta (arquitetura), padrão de crescimento (taxas e partição de assimilados), eficiência fotossintética e atividade reprodutiva (Campostrini, 1994). Porém, para a região sul de Minas, no caso de plantio adensado e/ou isolado, as linhagens recomendadas devem ser de porte mais reduzido e com menor diâmetro de copa.

Vários autores abordam o problema da intensidade de radiação solar nas lavouras de café, contudo, são poucas as informações básicas referentes a aspectos fisiológicos em resposta à intensidade de irradiância.

Assim, com este trabalho objetivou-se obter informações básicas sobre o comportamento fisiológico de mudas de diferentes cultivares de *Coffea arabica* L. (Catuaí, Icatu, Rubi e Acaiá) submetidas a diferentes níveis de radiação solar, que possam vir a contribuir para o desenvolvimento de sistemas de produção de mudas para cultivo isolado e/ou consorciado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A espécie *Coffea arabica* L. é originária da Etiópia, onde cresce permanentemente sob sombreamento em florestas tropicais (Kumar, 1979).

Embora originalmente seja uma espécie adaptada à sombra, no Brasil, o cafeeiro é cultivado a pleno sol, com produções economicamente satisfatórias e, geralmente, maiores que os plantio sob sombra, desde que a disponibilidade hídrica do solo não seja um fator limitante à sua produtividade (da Matta 1995). A prática do cultivo do cafeeiro a pleno sol tem apresentado problemas como a superprodução e o conseqüente esgotamento das plantas durante os primeiros anos, até que o auto-sombreamento diminua esse efeito (Voltan, 1992). É interessante determinar a condição ideal de sombreamento, em que a produção não seja afetada e nem a própria planta tenha prejuízos.

Segundo Kumar e Tieszen (1980) e Fahl *et al.*(1994), a irradiância de saturação para essa espécie está compreendida em torno de 300 a 600 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, permitindo, com base nesses dados, que se faça um adequado manejo das lavouras em termos de sombreamento.

No entanto, altas intensidades luminosas, mais do que saturam intensamente o aparelho fotossintético do cafeeiro, acarretando-lhe severa fotoinibição (Nunes, *et al.*, 1993).

Qualquer condição ambiental subótima pode alterar a emissão de fluorescência a partir de moléculas de clorofila, afetando diretamente ou indiretamente o metabolismo fotossintético e alterar a emissão de fluorescência a partir de moléculas de clorofila (Lyons, 1973; Smillie e Hertherington, 1983).

Da energia solar absorvida pelas moléculas de clorofila, parte é usada para dirigir as reações “químicas” da fotossíntese e parte é dissipada de vários modos, como a emissão de fluorescência. A razão entre fluorescência variável (Fv) e fluorescência máxima (Fm) indica a capacidade fotoquímica do FSII, e

um decréscimo dessa razão é um dos sinais mais confiáveis da ocorrência de fotoinibição (Janda *et al*, 1994; Padenovic *et al*, 1994).

Quando a irradiância aumenta progressivamente, observa-se, comumente, um declínio na eficiência quântica (Peterson, 1990). Isso se deve, em parte, ao fechamento dos centros de PSII, quando o “pool” de plastoquinona se torna escasso, resultando na probabilidades de dissipação de energia radiante em forma de calor ou de fluorescência (Butler e Kitajima, 1975; Dietz *et al* , Horton e Hague, 1988; Peterson *et a*, 1988).

Segundo Kumar e Tieszen (1980), as altas taxas fotossintéticas foram encontradas sob moderada irradiância e, com $1200 - 1300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, não foram verificados danos no aparato fotossintético. Radiações acima de $2200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, comuns em dias ensolarados das regiões tropicais, podem induzir a fotoinibição.

Nutman (1939), trabalhando com folhas isoladas de cafeeiros, verificou que a assimilação líquida de carbono foi maior em condições de sombreamento do que a pleno sol, especialmente entre 9 e 14 h. A menor eficiência de assimilação de carbono a pleno sol se deveu, provavelmente, ao fechamento estomático provocado pela prevenção da perda d’água nessas condições. Alvim (1958) conclui pela validade das afirmações acima apenas que as folhas internas estariam auto-sombreadas e, conseqüentemente, predispostas a uma menor perda d’água pela transpiração.

Freitas (2000), estudando o efeito de 30, 50, 70% de sombreamento e 100% de luz solar em cultivares de *Coffea arabica* L., verificou que o nível de sombreamento de 70% apresentou as maiores taxas de fotossíntese, não verificando diferenças entre os cultivares.

Sondah, Crocomo e Sodek (1976) compararam as taxas fotossintéticas de espécies de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* e constataram que as duas

taxas fotossintéticas mais altas foram encontradas em plantas da espécie *C. arabica*, consideradas mais produtivas.

De acordo com Mazzafera e Guerreiro Filho (1991), parece possível, a princípio, selecionar cafeeiros mais produtivos, com base nas taxas fotossintéticas de plantas no estágio inicial de desenvolvimento. Porém, pelo de esses autores terem comparado um número reduzido de plantas e as mesmas serem bastantes contrastantes em relação à produção, seria questionável a utilização desse método para selecionar plantas de uma mesma linhagem ou progênie de cafeeiros que estivessem em nível adiantado de seleção para produtividade.

Sondahl e Teh (1980) mediram taxas fotossintéticas de cafeeiros, com a mesma proposta de Sondahl, Crocomo e Sodek (1976). As plantas avaliadas pertenciam à espécie *C. arabica*, e que as maiores taxas fotossintéticas foram encontradas em cafeeiros produtivos dos cultivares Bourbon, Mundo Novo e Catuai.

Campostrini (1994) realizou estudos comparando fotossíntese e produtividade de cinco genótipos de *Coffea canephora* Pierre, com baixa, média e alta produtividade. Esse autor constatou que todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético, demonstrando que diferenças na produtividade não estão relacionadas diretamente à capacidade fotossintética.

Maestri e Gomes (1961), estudando níveis de sombreamento em mudas de café em viveiro, testaram 25, 50 e 100 de luz solar e concluíram que a área foliar total, a área média das folhas e o número médio de folhas por planta aumentaram com a diminuição da disponibilidade de luz. Os piores resultados foram obtidos ao sol direto

Silveira e Maestri (1973), estudando o crescimento de mudas de cafeeiro sob quatro níveis de luz, concluíram que o maior crescimento, medido pela

matéria seca total, verificou-se sob o nível de 50% de luz, concordando com Maestri e Gomes (1961) e Castilho (1961).

Fahl e Carelli (1994), quando estudaram o efeito do sombreamento de 30, 50 e 100% de luz solar em processos fisiológicos envolvidos na produção, avaliaram o crescimento (área foliar e altura), os teores de clorofila, nitrogênio total e a atividade da redutase do nitrato em folhas de cafeeiro. Os resultados mostraram que 150 dias após o início do experimento, os diversos cultivares estudados responderam diferentemente aos níveis de luz. O cultivar Apoatã C – 3597 (*C. canephora*) apresentou o melhor desenvolvimento quando cultivado a 50% de luz, ao passo que as que os cultivares de *C. arabica* (Catuaí H 2077-2-5-81 e Mundo Novo LCP 388-17) não mostraram diferenças significativas no crescimento a 50 e 100% de luz. O sombreamento excessivo (30% luz) reduziu o desenvolvimento dos cultivares de *C. arabica*, mas não alterou o de *C. canephora*, em relação ao cultivo a pleno sol. O crescimento do Icatu – LC 3282 aumentou linearmente com os níveis de luz. O peso foliar específico diminuiu com o aumento do sombreamento em todos os cultivares estudados. De modo geral, os teores de clorofila aumentaram com o sombreamento, com exceção do cultivar Apoatã, que atingiu o valor máximo a 50% de luz. Os teores de nitrogênio total por área foliar decresceram com o aumento do sombreamento em todos os cultivares, porém, quando os valores de N total foram expressos por peso de área foliar, os cultivares de *C. arabica* apresentaram o máximo em 50% e 100% de luz. A atividade da enzima redutase do nitrato nas folhas aumentou com o sombreamento em todos os cultivares estudados.

O nitrogênio é o elemento exigido em maiores quantidades pelo cafeeiro (Bornemisza, 1982; Carvajal, Acevedo e Lopez, 1969 e Malavolta, 1986) e uma adubação nitrogenada adequada proporciona um rápido crescimento da planta e a formação de folhas verdes e brilhantes (Malavolta, 1963). Porém, o auto-sombreamento pode limitar a capacidade fotossintética, diminuindo, assim, a

necessidade de nutrientes, principalmente do nitrogênio (Malavolta, 1986). Esse mesmo autor, citando trabalhos de Accorci e Haag (1959), faz uma comparação entre folhas normais e deficientes em nitrogênio, relatando que no segundo caso há uma menor quantidade de cloroplastos, os quais são de tamanho reduzido, refletindo uma menor atividade fotossintética e conseqüente menor produção de amido.

A seqüência metabólica da incorporação do nitrogênio mineral em compostos orgânicos é controlada pela enzima redutase do nitrato, que pode ser também estimulada pela luz. Em cafeeiros jovens, contrariamente a outras espécies, houve maiores níveis de atividade da redutase do nitrato foliar foram obtidas ao longo do período de escuro do que no período de luz (Cordeiro, et al, 1984; Alves et al, 1985).

Faleiros et al (1975) observaram em mudas de cafeeiros Mundo Novo cultivadas à meia sombra, uma maior atividade da redutase do nitrato que as cultivadas a pleno sol. Também foi constatado por Miranda Neto (1970) e Carvalho (1975) que a atividade da redutase do nitrato, indicadora do metabolismo do nitrogênio, e o crescimento foram maiores em mudas de cafeeiros sob condições de meia sombra.

Fahl et al (1994), estudando níveis de irradiância e nitrogênio afetando a fotossíntese líquida em plantas jovens de cafeeiros, concluíram que o cultivo de plantas nas mesmas condições de irradiância, suplementadas por nitrogênio, aumentou em 55% a área foliar, comparando-se com plantas com baixa condição de nitrogênio. Maiores taxas de fotossíntese líquida foram obtidas em plantas mantidas em altas irradiâncias com suplemento de nitrogênio. Assim, no ambiente de alta irradiação, o suprimento desse elemento determina, em grande parte, o crescimento da planta através de uma combinação de área foliar e maior taxa de fotossíntese líquida.

Financ

Rena e Maestri (1986) concluem que na interpretação dos resultados desses experimentos sobre intensidade de luz sobre mudas de cafeeiros, deve-se levar em consideração que muitas outras variações ocorrem no ambiente, em adição e em decorrência da variação da intensidade luminosa, como: temperatura do solo, do ar e da folha, umidade do solo e do ar e, conseqüentemente, o balanço hídrico da planta. Os mesmos autores citam que o crescimento do caule e raízes em plantas jovens de cafeeiros pode ser afetado por altas temperaturas, como conseqüência da inibição da translocação de fósforo desde as raízes e seu acúmulo na parte aérea e da redução da capacidade foliar de fixar o gás carbônico e translocar fotoassimilados para outros órgãos da planta, principalmente as raízes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados quatro cultivares de café, os mais utilizados na região sul de Minas e adequados à finalidade do experimento, Acaiá cerrado MG 1474, Catuai IAC 99, Icatu Amarelo IAC 3282 e Rubi MG 1192. Essas mudas foram obtidas em viveiro de mudas com 7 meses de idade. Elas permaneceram em um ambiente de 50% de radiação por um período de 30 dias, sendo, em seguida, transplantadas duas plantas por vaso (colunas de pvc) com aproximadamente 25 cm de diâmetro e contendo um volume de 17,5 L de terra com substrato-padrão (Guimarães, 1994).

A partir do oitavo mês (novembro de 1999), as plantas desses cultivares foram, selecionados em tamanhos semelhantes e distribuídos nos seguintes tratamentos:

- a) Cultivares recebendo 100% de radiação solar (cultivares a pleno sol).
- b) Cultivares recebendo 70% de radiação solar (cultivares em sombrite 30%)
- c) Cultivares recebendo 50% de radiação solar (cultivares em sombrite 50%)
- d) Cultivares recebendo 36% de radiação solar (cultivares em casa-de-vegetação).
- e) Cultivares recebendo 30% de radiação solar (cultivares em sombrite 70%)

As plantas foram irrigadas diariamente, buscando manter o solo próximo da capacidade de campo, sendo também realizada uma adubação foliar com nitrato de potássio, boro, zinco, cobre e molibdênio. Essas plantas

permaneceram nessas condições por um período de dez meses quando foram iniciadas as avaliações no período de 20 a 22 de setembro de 2000.

No dia 20, foram avaliados os tratamentos de cultivares que receberam 100 e 70 de radiação solar, no dia 21, foram avaliados os tratamentos de 50 e 30% de radiação solar, e no dia 22 foram avaliadas as plantas mantidas em casa-de-vegetação. Esses dias de avaliações foram caracterizados por condições climáticas semelhantes estatisticamente, dias claros, com radiação solar em torno de $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e temperatura em torno de 25°C . O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo cada tratamento constituído de três repetições por cultivares (cada repetição sendo um vaso com duas plantas). A comparação entre médias foi feita pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Abaixo as características avaliadas:

3.1 Caracterização do Ambiente

Os dados meteorológicos referentes à temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa média do ar, precipitação e insolação, foram obtidos na Estação Climatológica Principal de Lavras, Minas Gerais, situada à latitude $21^{\circ}14'S$, longitude de $45^{\circ}00'W$, altitude de 910 metros, e localizada a cerca de 300 metros da área experimental (Setor de Fisiologia – UFLA).

Para caracterizar os diferentes níveis de radiação foram utilizados sombrites que permitem uma radiação solar de 70, 50 e 30 da radiação total. Após a instalação dos mesmos, foram feitos testes preliminares com um quântometro Hansatech, pelo qual verificaram a quantidade de radiação sobre o "dossel" das plantas e a percentagem de radiação solar sobre as mesmas.

Na casa-de-vegetação foram obtidos dados de temperatura através de um termômetro de máxima e mínima colocada *in situ*, numa altura equivalente ao terço superior das copas dos cafeeiros.

3.2 Área Foliar

Para análise da área foliar específica, foi coletado o primeiro par de folhas completamente expandidas, contado a partir do ápice do ramo ortotrópico. A análise foi baseada no método dos discos foliares, usando-se um perfurador metálico. Gomide et al (1977).

Ao final do experimento, foram determinados a altura e o diâmetro do ramo ortotrópico de cada planta.

3.3 Fotossíntese Potencial

A fotossíntese potencial foi determinada no primeiro par de folhas completamente expandidas, contado a partir do ápice do ramo ortotrópico, utilizando-se uma câmara de Clark de fase gasosa (Hansatech) e um eletrodo de oxigênio acoplado a uma caixa de controle de fluxo elétrico CB1 (Hansatech), que amplifica as correntes vindas do eletrodo, seguindo a metodologia utilizada por Delieu e Walkes (1983) com alterações: solução de KCl $\frac{1}{4}$ da saturação, NaHCO_3 a 1 mol.L^{-1} . As determinações foram realizadas à temperatura de 35°C , sob a iluminação de uma densidade de fluxo de fótons de $1100 \mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

medida por um quântometro na superfície do disco foliar, que possuía uma área de 2,5 cm².

3.4 Clorofila a, b e total.

Amostras de discos foliares, retiradas do primeiro par de folhas completamente expandidas, contado a partir do ápice do ramo ortotrópico, foram maceradas em graal com 3mL de acetona 80% (v/v), completando-se o volume até 8mL. Essa operação foi feita em sala escura apenas com a incidência de luz verde. O macerado foi centrifugado a 10000g por 20 minutos e o sobrenadante foi utilizado para a determinação do conteúdo de clorofila a, b e total, de acordo com as absorvâncias A663nm e A645nm, segundo as equações abaixo definidas por (Holden, 1976) :

$$\text{clorofila a} = 12,7 \times A663\text{nm} - 2,69 \times A645\text{nm};$$

$$\text{clorofila b} = 22,9 \times A645\text{nm} - 4,28 \times A663\text{nm};$$

$$\text{clorofila total} = 8,02 \times A663\text{nm} + 20,2 \times A645\text{nm};$$

3.5 Trocas Gasosas

Foi utilizado o analisador de gás por infravermelho (IRGA), sistema aberto, portátil, modelo ADC-LCA-4 (Hoddesdon, UK) para medir as trocas gasosas no primeiro par de folhas completamente expandidas do ramo ortotrópico. As características avaliadas foram: taxa fotossintética líquida (A), temperatura foliar da câmara (T câmara), condutância estomática (gs) e transpiração (E).

3.6 Potencial Hídrico

O potencial hídrico foi medido antes do amanhecer por uma bomba de pressão, método estabelecido por Sholander et al (1965), nos primeiros pares de folhas maduras.

3.7 Fluorescência

A eficiência fotoquímica do fotossistema II foi avaliada utilizando-se o fluorômetro PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Norkfolk, UK). Antes das medições, os folíolos foram submetidos ao escuro por 30 minutos com auxílio dos cliques foliares, e a intensidade de luz emitida durante 5 segundos foi de 100% da capacidade total. Foram mensurados os seguintes parâmetros: fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m) e fluorescência variável ($F_v = F_m - F_o$), sendo utilizada para as análises de eficiência fotoquímica a relação F_v/F_m . As folhas foram selecionadas seguindo-se o mesmo critério utilizado nas trocas gasosas.

3.8 Análises Químicas

Os extratos brutos foram obtidos de acordo com a metodologia descrita por Lemos (1996), com a intenção de se fazer posteriormente os ensaios enzimáticos, o que não foi possível fazer. Esse extrato foi utilizado também para a quantificação de açúcares redutores, açúcares solúveis totais, aminoácidos livres e proteínas solúveis totais.

O extrato foi obtido pela homogeneização das amostras de tecido vegetal em 5 mL de um meio de extração composto de tampão fosfato de potássio 0,1M pH 7,5 (4,82 mL), $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 M (100 μ L) e PVPP (100mg). Seguiu-se uma centrifugação a 30000g durante 10 minutos a 4°C.

3.9 Atividade da Redutase do Nitrato

A atividade da redutase do nitrato “*in vivo*” nos primeiros pares de folhas maduras foi avaliada segundo metodologia descrita por Oliveria e Magalhães (1989), modificada por Cairo (1992). Para cada amostra 500 mg de tecidos foliares, foram transferidos para o meio de incubação. O composto de 4,95 mL de tampão fosfato de potássio pH= 7,5 (0,1 mM), 1% (v/v) n-propanol e KNO₃ 100 (mM). As amostras foram infiltradas a vácuo por 2 minutos e depois submetidas a banho-maria a 30° C por 40 minutos. Foram retiradas alíquotas de 500µL aos 10 e 40 minutos de incubação, sendo esse volume transferido para o meio de reação composto de 1 mL de sulfanilamida (1% em HCL 1,5 N), 1 mL de N-1 naftil-etileno (0,02%) e 1,5 mL de H₂O destilada. As leituras espectrofotométricas foram feitas a 540nm, sendo a atividade da enzima expressa em µmol NO₂. g⁻¹MF. h⁻¹

3.10 Açúcares Redutores

Os açúcares redutores foram quantificados de acordo com a metodologia descritas por Miller (1959), utilizando-se alíquotas de 200 µL do extrato bruto, sendo adicionados 1300 µL de água destilada e 1000 µL do reagente DNS. Essa mistura foi homogeneizada e levada ao banho-maria por 5 minutos a 100°C, sendo, posteriormente, resfriada à temperatura ambiente. As amostras foram levadas para leitura em espectrofotômetro a 540 nm, sendo os valores expressos em µmol GLI g⁻¹ de matéria fresca, e a quantificação dos açúcares baseou-se na curva-padrão obtida a partir de diferentes quantidades de glicose.

3.11 Açúcares Solúveis Totais

Os açúcares solúveis totais foram quantificados de acordo com o protocolo descritas por Yemm e Willis (1954), utilizando-se uma alíquota de 10 μL do extrato bruto em 990 μL de água destilada e 2,0 mL do reagente antrona. Após agitação, os tubos foram levados para aquecimento a 100°C por 5 minutos. As amostras foram levadas para leitura em espectrofotômetro a 620 nm, sendo os valores expressos em $\mu\text{mol GLI g}^{-1}$ matéria fresca e a quantificação dos açúcares baseou-se na curva-padrão obtida a partir de diferentes quantidades de glicose.

3.12 Proteínas Solúveis Totais

A determinação de proteínas foi realizada pelo método de Bradford (1976). Alíquotas de 50 μL dos extratos foram adicionados em 50 μL água destilada e 5 mL do reagente Comassie. Posteriormente, os meios de reação foram homogeneizados em agitador e levados para leitura em espectrofotômetro a 595 nm, sendo os valores expressos em mg proteína.g⁻¹ de matéria fresca, com base na curva-padrão obtida a partir de diferentes concentrações de albumina soro bovina (BSA).

4 Resultados e Discussão

4.1 Caracterização do Ambiente

Na Tabela 1, encontram-se os dados referentes às temperaturas máxima, mínima e umidade relativa do ar do mês de setembro, período de avaliação e do ambiente casa-de-vegetação. Observa-se, de acordo com as Figuras 1 e 2, que o mês de setembro, mais precisamente durante o período de avaliação, foi caracterizado por um período seco com alta insolação, favorecendo altas temperaturas, e baixa umidade relativa do ar, pois não ocorreram precipitações pluviométricas.

Essas condições ambientais do período de avaliação, associada à infraestrutura da casa-de-vegetação, que era de vidro, material cuja perda de calor no decurso da noite é muito inferior em comparação aos outros materiais, certamente influenciaram na caracterização do ambiente das plantas mantidas em casa-de-vegetação.

Com isso, a casa-de-vegetação foi caracterizada por altas temperaturas, que chegavam a ser 27% superiores quando comparadas com a temperatura da estação climatológica (Tabela 1). Esse aquecimento do ambiente pode incidir no solo, na planta e na atmosfera, gerando variações de umidade, transpiração e concentração de CO₂.

TABELA 1- Dados médios de umidade relativa, temperatura máxima e mínima, referente ao mês de setembro/2000

Média	Umidade (%)	Tmáx (°C)	Tmin (°C)
Mês de setembro	72,0	25,5	15
Período de avaliação 20 a 22/9	83	29,5	15
Casa-de-vegetação	-	37.5	23

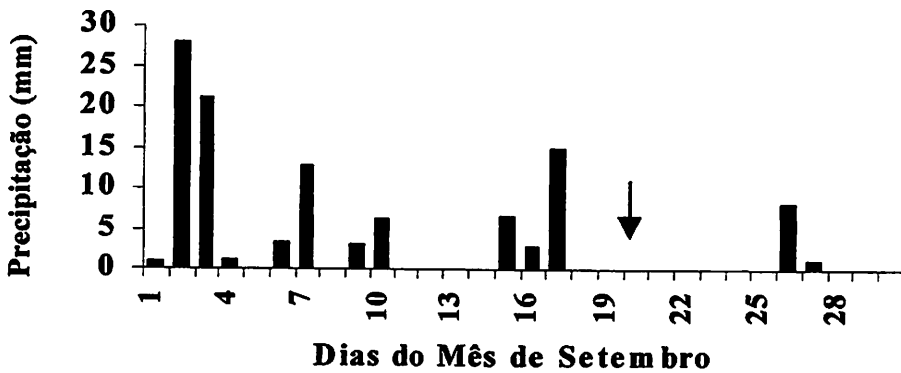


FIGURA 1: Dados diários de precipitação (mm) referentes ao mês de setembro de 2000. A seta indica o período das avaliações.

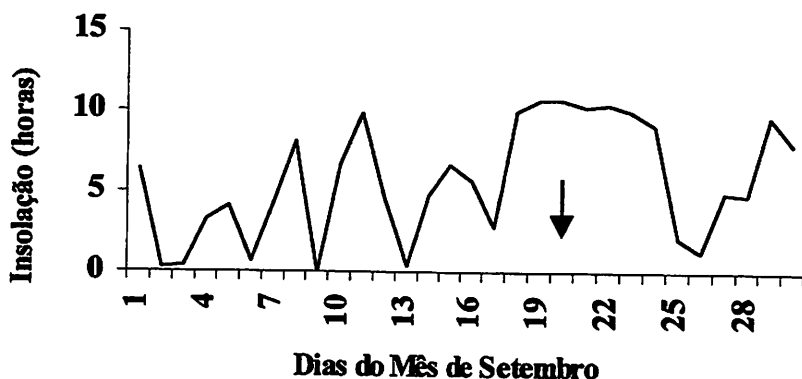


FIGURA 2: Dados diários de insolação (horas) referentes ao mês de setembro de 2000. A seta indica o período de das avaliações.

4.2 Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo (DFFFA)

Conforme se observa na Tabela 2, os dados apenas confirmam a redução do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos sobre os cultivares de acordo com o material comercial utilizado na caracterização dos ambientes.

TABELA 2: Médias da densidade de fluxo fotossinteticamente ativo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sobre cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	1695	1117	809	693	433	949 A
Rubi	1969	1163	721	707	434	969 A
Catuai	1928	1027	817	736	463	1024 A
Icatu	2039	1126	840	659	490	1024 A
Média	1907 a	1107 b	797 c	699 d	455 e	
CV	10.26%					

*C. V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.3 Área Foliar

Na Tabela 3 são apresentados os dados referentes à área foliar de diferentes cultivares de cafeeiro em função dos níveis de radiação solar. De maneira geral, os cultivares apresentaram uma tendência de redução da área foliar quando se comparam os dados do maior nível de sombreamento para a condição de pleno sol, não havendo diferenças significativas entre os cultivares ao final do experimento. Maestri & Gomes (1961), estudando níveis de radiação em mudas de café em viveiro, concluíram que a área foliar aumentou com a diminuição do nível de luz. Fahl e Carelli (1994), estudando o efeito do sombreamento de 70, 50 e 100% de luz solar em processos fisiológicos envolvidos na produção, avaliaram o crescimento (área foliar e altura), em que os diversos cultivares estudados responderam diferentemente aos níveis de radiação, sendo que o sombreamento excessivo reduziu significativamente o desenvolvimento dos cultivares de *C. arabica*. Conclui-se, portanto, que os dados obtidos neste trabalho são corroborados por outros da literatura, onde fica claro a adaptação de plantas de cafeeiros de acordo com a intensidade luminosa. Essa plasticidade de ajuste da área foliar na presença de diferentes níveis de radiação é um interessante aspecto e que deve-ser positivamente considerado na implantação de lavouras cafeeiras consorciadas e ou adensadas com outras culturas de maior porte.

TABELA 3: Área foliar (cm²) média ao final do experimento dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	25.0	31.8	36.3	43.6	38.5	34,9 A
Rubi	23.6	36.8	40.6	35.8	36.6	39,0 A
Catuai	36.7	31.8	36.3	44.3	45.6	34,7 A
Icatu	21.2	33.3	34.4	36.4	41.6	33,4 A
Média	26.6 A	33.2 A	37.2 B	39.9 B	40.6 B	
CV	22.47%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.4 Diâmetro do Caule

Nota-se na Tabela 4 que os diferentes genótipos de cafeeiro não diferenciaram entre si e que diferenças significativas foram obtidas apenas para os diferentes tratamentos. Os cultivares que estavam em condição de casa-de-vegetação (36% de radiação solar) obtiveram um diâmetro do caule significativamente maior ao final do experimento, quando comparados com as demais condições de intensidade luminosa. O diâmetro do caule é um importante parâmetro indicativo da adaptabilidade da muda às condições de campo. O maior diâmetro sugere a existência de um sistema radicular mais vigoroso, o que, certamente, deve propiciar à muda melhores condições de desenvolvimento inicial Viana (1981).

Entretanto, algum outro fator possibilitou que plantas mantidas em casa-de-vegetação tivessem, ao final do período experimental, diâmetro do caule significativamente maior que as plantas dos demais tratamentos, uma vez que o nível de radiação dentro da casa-de-vegetação, por exemplo, fica bastante próximo ao obtido com o emprego do sombrite para 30% de radiação.

TABELA 4: Diâmetro médio dos caules (mm) ao final do experimento dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	7,3	7,0	6,6	7,9	5,7 B	6,9 A
Rubi	6,2	6,2	6,4	7,3	5,6 B	6,7 A
Catuai	6,6	6,7	6,8	8,4	7,1 A	7,1 A
Icatu	7,3	5,5	5,5	8,4	7,5 A	6,4 A
Média	6,8 b	6,3 b	6,3 b	8,05 a	6,5 b	
CV	12.89%					

*C. V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.5 Altura das Plantas

Para esta característica, observa-se que os cultivares mantidos em casa-de-vegetação (36% de radiação), seguidos do tratamento a 70% de radiação, apresentaram maior altura, sendo que, o cultivar Acaia obteve maior altura, como era de se esperar em todas as condições de radiação (Tabela 5). Melo et al (1998), relatam que o cultivar Acaia, obtido pela seleção do cultivar Mundo Novo, são plantas de porte alto com menor diâmetro de copa e o cultivar Icatu, é também de porte alto, assemelhando-se ao Mundo Novo, mas com um grão maior. Os cultivares Catuai e Rubi apresentam menor porte de planta, sendo sendo mais recomendados para o plantio adensado.

TABELA 5: Altura média (cm) ao final do experimento dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	81.6 A	88.5 A	71.6 A	84,5 A	74 A	79,9 A
Rubi	49.B	50.6 C	48.1 B	54,6 B	51.3 B	50,8 C
Catuai	53 B	64.8 B	55 B	74 A	51.3 B	59,6 D
Icatu	74 A	66 B	66 A	80 A	63.6 A	69,9 B
Média	64,5 a	67,5 a	60,1 b	73,2 a	60,8 b	
CV	11,09%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.6 Potencial Hídrico Foliar e Déficit de Pressão de Vapor

De acordo com a Tabela 6, observa-se que as plantas em condições de casa-de-vegetação (36% de radiação) apresentaram um menor potencial hídrico, fato que pode ser explicado pelo microclima característico da casa-de-vegetação, uma vez que essas plantas foram cultivados em solos mantidos na sua capacidade de campo. Rena e Maestri (2000), relatam que os efeitos combinados do déficit hídrico e das altas irradiâncias sobre a capacidade fotossintética do cafeeiro podem variar largamente entre cultivares e espécies. Esses autores verificaram que sob forte déficit hídrico (potencial hídrico foliar de antes do amanhecer de -2,7 Mpa), os valores de fotossíntese líquida máxima para o Catuai foram seis vezes menor do que no Conillon, sugerindo maior tolerância de sua maquinaria fotossintética à desidratação em relação ao Catuai.

Foram observadas diferenças significativas para potencial hídrico foliar entre os diferentes cultivares, sendo que o cultivar Acaia apresentou um menor potencial hídrico.

Também foram monitorados os déficits de pressão de vapor dos diferentes ambientes utilizados neste trabalho (Tabela 7). Nota-se que os

maiores e menores valores de DPV foram obtidos a 100 e 30% de irradiância, respectivamente, havendo diferenças significativas entre esses tratamentos.

TABELA 6: Médias do Potencial Hídrico (BAR) em cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaíá	4.3 a	3.6 a	4.3 a	4.5 a	4.1 a	4,2 A
Rubi	3.1 b	3.3 a	3.1 b	3.8 b	4.0 a	3,9 B
Catuai	1.8 c	2.1 b	2.1 c	4.8 a	2.3 b	2,6 C
Icatu	2.6 b	2.8 b	2.1 c	3.1 b	2.8 b	2,7 C
Média	3,0 b	3,0 b	2,9 b	4,0 a	3,3 b	
CV	16.37%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

TABELA 7: Déficit de pressão de vapor dos dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	0,42	0,40	0,39	0,36	0,36	0,39 A
Rubi	0,43	0,40	0,42	0,36	0,36	0,39 A
Catuai	0,46	0,40	0,40	0,39	0,36	0,40 A
Icatu	0,46	0,40	0,40	0,39	0,36	0,40 A
Média	0,44 a	0,39 b	0,40 b	0,38 b	0,36 c	
CV	5.9%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.7 Temperatura Foliar, Transpiração , Condutância Estomática e Fotossíntese Líquida

Não foram observadas diferenças significativas entre os cultivares para o mesmo nível de radiação luminosa para temperatura foliar (Tabela 8), transpiração (Tabela 9) e condutância estomática (Tabela 10). Diferenças

significativas foram observadas apenas entre níveis de radiação, independente do cultivar analisado.

Para temperatura foliar dos cultivares em função dos diferentes níveis de radiação, observa-se na Tabela 8 que os cultivares em condições de casa-de-vegetação apresentaram maiores temperaturas foliares, conseqüentemente, menores taxas de transpiração e de baixa condutância estomática, como se observa nas Tabelas 9 e 10. Segundo Rena e Maestri (1986), em condição de alta temperatura, a dissipação do calor latente pela transpiração é grandemente reduzida em razão do fechamento dos estômatos e provavelmente, ocorrem perdas ainda maiores na assimilação líquida do carbono. Há que se considerar que a casa-de-vegetação é um ambiente com características bastante particulares, uma vez que, estatisticamente, as plantas nessas condições apresentaram diferenças significativas para a temperatura foliar média em relação ao tratamento de 100% de irradiância (Tabela 8), mas apresentaram resultados contrastantes para transpiração (Tabela 9) e condutância estomática (Tabela 10), o que refletiu, finalmente, em uma menor taxa de fotossíntese líquida (Tabela 11) entre os diferentes cultivares; Icatu e Acaiá por exemplo apresentaram as maiores taxas de fotossíntese líquida. Isso explica, pelo menos em parte, porque a fotossíntese líquida é maior à sombra, o que foi constatado na Tabela 11, na qual as plantas em condições 30% de luz tiveram uma maior fotossíntese líquida, entre genótipos o cultivar Icatu teve uma tendência de maior fotossíntese líquida.

TABELA 8: Temperatura foliar média (°C) dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	34.1	27.5 A	31.5	36.3	30.4	31.9 A
Rubi	34.5	31.2 A	31.2	34.2	30.0	31.9 A
Catuai	34.1	31.3 A	28.4	35.0	30.0	31.6 A
Icatu	34.6	16.4 B	31.1	36.3	29.0	30.4 A
Média	34.3 a	27.6 c	30.5 b	35.4 a	29.8 b	
CV	9.46%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

TABELA 9: Transpiração média (E) dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	1.19	0.89	1.32 B	0.16	1.19	0.82 A
Rubi	1.25	1.18	0.36 A	0.46	1.00	0.67 A
Catuai	1.00	0.96	0.7 A	0.34	1.25	0.87 A
Icatu	0.92	0.6	0.45 A	0.68	0.92	0.70 A
Média	1,09 a	0.93 a	0,71 b	0.41 b	0,71 b	
CV	7,5%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

TABELA 10: Condutância estomática média (gs) dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	30	26	5	0	26	17.4 A
Rubi	20	20	13	0	26	15.8 A
Catuai	16	40	6	6	20	17.6 A
Icatu	30	15	13	13	30	20.2 A
Média	25 a	26 a	20 a	5 b	25 a	
CV	8.9%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

TABELA 11: Fotossíntese líquida média (*A*) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	4.26 A	2.58 B	4.61 A	2.18	2.97 A	3.3 A
Rubi	1.72 B	1,80 B	1.23 B	0.79	2.04 A	1.5 B
Catuai	0.56 B	2.60 B	0.52 B	1.20	0.72 B	1.1 B
Icatu	4.26 A	4.51 A	2.25 B	1.14	3.35 A	3.0 A
Média	2.70 a	2.72 a	2.15 a	1.32 b	2.27 a	
CV	7,01%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.8 Fluorescência

De acordo com a Tabela 12, todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético quando relacionados com a emissão da fluorescência, porém, os genótipos em 30% de luz obtiveram uma maior razão F_v/F_m , sendo estatisticamente superiores aos demais tratamentos, indicando uma maior eficiência nessa condição. Como a razão F_v/F_m é considerada uma medida de utilização da energia radiante absorvida na fotossíntese e valores elevados desta razão, em folhas maduras, implicam na melhoria na utilização de energia radiante absorvida e elevação das reações do ciclo de Calvin (Siffel et al. 1988), possivelmente os genótipos estudados não apresentaram limitações com relação a esses processos para o mesmo nível de radiação. Entretanto, observam-se diferenças significativas entre os tratamentos; a 30% de irradiância, foram obtidos os maiores resultados, possivelmente pelo fato de ser a planta de café originária de subosques, condição semelhante obtida neste tratamento.

Analisando conjuntamente os dados das Tabelas 11 e 12, nota-se que houve correlação entre a fotossíntese líquida e a fluorescência para as plantas dos cultivares estudados em função dos tratamentos empregados, exceto para aquelas mantidas em casa-de-vegetação (36% de irradiância).

TABELA 12: Razão Fv/Fm dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	0.49	0.63	0.61	0.59	0.73	0,61 A
Rubi	0.61	0.64	0.65	0.55	0.75	0,64 A
Catuai	0.48	0.53	0.71	0.71	0.76	0,62 A
Icatu	0.64	0.54	0.71	0.62	0.76	0,64 A
Média	0.55 b	0.58 b	0.66 b	0.62 b	0.75 a	
CV	18.41%					

*C. V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

4.9 Fotossíntese Potencial

Observa-se na Tabela 13, que os cultivares não se diferiram entre si e que as maiores taxas de fotossíntese potencial, em função dos diferentes níveis de sombreamento foram obtidas para as plantas mantidas em 30e em 50% de radiação solar, e as menores taxas para aquelas em casa-de-vegetação (nível de 36% de luz). Observa-se uma correlação direta entre a fotossíntese líquida e Fotossíntese Potencial (Figura 3), em que se nota que o processo fotossintético foi afetado negativamente em relação aos demais tratamentos, possivelmente pelas condições microclimáticas desse ambiente.

Campostrini (1994), estudando a potencialidade de cinco genótipos de café *C.canephora* ,encontrou valores de fotossíntese potencial entre 32 a 44 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os clones estudados, sendo esses valores maiores que os encontrados por Almeida (1993), que trabalhou com café arabica, obtendo valores entre 21 e 35 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que são relativamente próximos ao obtido neste experimento.

TABELA 13: Fotossíntese potencial ($Amáx$) $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	29.6 A	26.3 B	10.2	6.4	32.4 B	21,02 A
Rubi	16.1 B	36.1 A	9.3	7.1	32.4 A	20.24 A
Catuaí	29.6 A	18.0 C	12.9	9.0	23.1 A	18.56 A
Icatu	11.1 B	10.1 D	6.9	8.3	37.0 A	14,71 B
Média	21.63 b	22.67 b	9.87 c	7.75 c	31.2 a	
CV	18,41%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar.

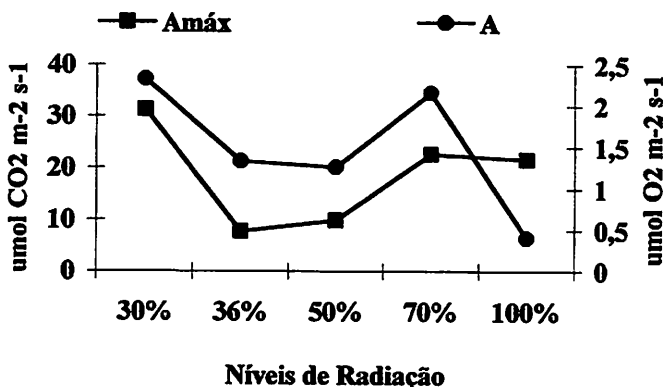


FIGURA 3 : Correlação entre fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e fotossíntese potencial ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Média de três repetições.

4.10 Relação de Clorofila a/b

Pela Tabela 14 observa-se que a relação clorofila a/b decresce de acordo com a diminuição da intensidade luminosa (Tabela 2). Sabe-se que em plantas em condição de sombreamento, a relação clorofila a/b tende a diminuir, como

consequência de um aumento no conteúdo de clorofilas b. entre os cultivares, o cultivar Rubi apresentou a menor relação para clorofila a/b, diferenciando-se estatisticamente dos demais cultivares, independente do nível de irradiância em comparação com os teores de pigmentos foliares (Tabela 13), verifica-se que há uma relação. É provável que os cultivares em condições de maior luminosidade tenham apresentado melhor desempenho fotossintético.

TABELA 14: Relação média dos teores de clorofila a/b (mg. cm⁻²) dos cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	2.31	2.38	2.56	1.94	2.20	2.28 A
Rubi	1.67	1.68	1.64	1.35	1.56	1.58 B
Catuai	2.58	2.11	1.91	2.08	1.82	2.10 A
Icatu	2.42	2.24	2.18	2.12	2.29	2.25 A
Média	2.24 a	2.10 a	2.07 a	1.87 b	1.97 b	
CV						

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar

4.11 Atividade da Redutase do Nitrato

Na Tabela 15 são apresentados os resultados da atividade *in vivo* da redutase do nitrato (RN). De maneira geral, observa-se que os menores valores da atividade da RN foram obtidos na condição de 30% de radiação solar e os maiores valores para a condição de 70% de radiação solar. Por outro lado entre os cultivares, foram encontrados diferenças estatisticamente significativas para os 4 cultivares estudados, sendo o cultivar Rubi o que apresentou a maior atividade da redutase do nitrato. A redução do nitrato em tecidos vegetais é reconhecidamente um processo que demanda muita energia metabólica, tendo um custo energético estimado um pouco menor em tecidos foliares, quando comparado com outro tecidos da planta, particularmente com as raízes. Ao se

analisarem conjuntamente os resultados das Tabelas 11 e 15, observa-se uma certa correlação negativa entre a fotossíntese líquida e a atividade da RN nas plantas cultivadas em casa-de-vegetação e 70% de sombreamento.

Miranda Neto (1970) e Carvalho (1975), estudando a atividade da enzima em mudas de cafeeiros sob condições de meia sombra, obtiveram uma maior atividade da enzima. Fahl e Carelli (1994), estudando o efeito do sombreamento de 70, 50 e 100% de luz, relatam que a atividade da enzima aumentou com o sombreamento, o que não foi observado neste experimento. A atividade da redutase do nitrato ocorre tanto à luz quanto no escuro (Aslam et all 1979; Rufy et all 1982; Claussen, 1986), embora, nas folhas, mais rapidamente à luz (Aslam e Huffaker, 1982; Reed et all, 1983; Shivasshankar e Rajgopal, 1983). O estímulo da atividade enzimática à luz tem sido associado à maior disponibilidade de ATP (Sawhney, et al 1978), NADH (Klepper et all 1971), nitrato (Beever et all 1965) e carboidratos (Aslam et all 1973). No entanto, a luz, por si, parece não ser um requerimento absoluto para a redução do nitrato, uma vez que níveis consideráveis de atividade enzimática podem ocorrer nos tecidos, pois, como se sabe o processo de redução e assimilação do nitrato um suprimento adequado de carboidratos (Guerreiro et all, 1981; Claussen, 1986). Dessa forma, os carboidratos armazenados aparentemente suprem a energia requerida para a indução e a redução do nitrato. Sabe-se que o processo de assimilação e redução do nitrato resulta na síntese de aminoácidos e proteínas, como pode observar nas Tabelas 14 e 15. As plantas cultivadas em pleno sol, 100% de luz, tiveram uma maior síntese de aminoácidos e proteínas, e o cultivar Rubi apresentou maiores teores de aminoácidos e proteínas.

TABELA 15. Média da Atividade da redutase do nitrato ($\mu\text{mol NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ MF h}^{-1}$) em cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	1.73 B	2.26 B	0.36 B	1.1 C	0.53 B	1.21 D
Rubi	1.76 B	2.93 A	1.83 A	2.0 B	0.60 B	1,82 A
Catuai	1.80 A	2.46 B	1.43 A	1.8 B	0.33 B	1,58 B
Icatu	2.06 A	0.96 C	0.36 B	2.8 A	0.93 A	1,43 C
Média	1.84 b	2.15 a	1,00 c	1,95 b	0.60 d	
CV	15.84%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar

4.12 Teores de Aminoácidos Livres

TABELA 16: Teores médios de aminoácidos livres ($\mu\text{mol GLY g}^{-1} \text{ MF}$) em cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	21.3 B	14.7	14.7 B	21.6	12.9	17.0 B
Rubi	33.7 A	17.6	48.9 A	22.3	17.6	28.0 A
Catuai	20.5 B	15.7	15.4 B	22.7	8.9	16.6 B
Icatu	14.4 B	17.5	10.9 B	20.9	17.5	16.2 B
Média	22.4 a	14.2 b	22.4 a	21.9 a	14.24 b	
CV	24.85%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar

Os maiores teores de aminoácidos livres foram obtidos nas plantas cultivadas em condição de 50% de radiação, casa-de-vegetação e a pleno sol, e entre cultivares, o maior teor foi encontrado no cultivar Rubi, não havendo diferenças significativas entre os demais cultivares.

Sabe-se que a assimilação do nitrogênio em tecidos vegetais é dependente da disponibilidade de esqueleto de carbono, quer na sua oxidação para a produção de energia requerida no processo (requerimento indireto), quer para a incorporação do N e conseqüente produção de aminoácidos (requerimento

direto). Apesar disso, não foram obtidas correlações positivas entre teor de aminoácidos livres (Tabela 16) e fotossíntese líquida (Tabela 11), considerando-se que esse seja o principal processo de síntese de carboidratos em tecidos verdes.

4.13 Teores de Proteínas

TABELA 17: Teores médios de proteínas solúveis totais ($\mu\text{g BSA g}^{-1}$ MF) em cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	1652 D	1436 B	950 B	933 B	1089 B	1212 C
Rubi	5204 A	4118 A	2322 A	890 B	1296 B	2766 A
Catuai	2986 B	1236 B	1514 B	1615 A	643 C	1599 B
Icatu	2475 C	4043 A	2293 A	593 C	4640 A	2809 A
Média	3079 a	2708 b	1770 d	1008 e	1917 c	
CV	8,35%					

*C. V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar

Na Tabela 17 são apresentados os resultados para o teor de proteínas solúveis totais em folhas de cafeeiros mantidos em diferentes condições de disponibilidade de luz. Observa-se uma resposta inconsistente dos cultivares em função dos tratamentos, embora, de maneira geral, os menores valores foram obtidos nas plantas mantidas em casa-de-vegetação (36% de radiação). Também, neste caso, não se observou a relação entre aminoácidos livres e proteínas solúveis totais nos diferentes tratamentos, apesar de que, em casa-de-vegetação (36% de radiação), as plantas apresentaram respostas inversas para essas duas variáveis.

4.14 Açúcares Redutores e Solúveis Totais

Como se observa na Tabela 18, foram obtidos maiores valores de açúcares solúveis totais para os cultivares em condições de 70% de radiação, provavelmente a maior atividade da enzima redutase do nitrato (Tabela 15) deveu-se a esse fato, sendo os carboidratos maiores fornecedores de poder redutor para esse processo. Por outro lado, observa-se uma relação indireta entre fotossíntese líquida (Tabela 11) e casa-de-vegetação (36% de radiação). Isso pode ser explicado, em parte, pelo fato de as análises de trocas gasosas terem sido realizadas às 12:00hs, quando a fotossíntese líquida já atuou por um período de tempo considerável e, em virtude das condições ambientais destes locais, principalmente a baixa umidade relativa, esse processo é negativamente afetado pelo fechamento estomático, como sugere os dados da Tabela 10.

Observa-se também uma relação inversa entre os teores de aminoácidos livres e açúcares redutores para as plantas mantidas em casa-de-vegetação (Tabelas 16 e 19), possivelmente pelo fato de que a incorporação do nitrogênio em aminoácido requer energia metabólica e síntese de compostos intermediários, sobretudo a partir do ciclo de Krebs.

TABELA 18: Teores médios de açúcares solúveis totais (mg GLI g⁻¹ MF) em cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	804 A	732 B	732 A	743 B	521 C	687 A
Rubi	560 D	696 C	620 B	798 A	509 C	636 D
Catuaí	618 C	744 B	568 C	764 B	734 A	686 B
Icatu	736 B	856 A	506 D	544 C	636 B	656 C
Média	679 c	757 a	606 d	712 b	600 d	
CV	3,47%					

*C. V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar

Observa-se que os maiores teores de açúcares redutores foram obtidos em plantas cultivadas em pleno sol, do passo que as plantas mantidas em casa-de-vegetação apresentaram os menores teores de açúcares redutores. Entre as cultivares, o cultivar icatu apresentou os maiores teores de açúcares redutores e enquanto o cultivar Rubi apresentou os menores.

TABELA 19: Teores de açúcares redutores ($\mu\text{mol GLI g}^{-1}\text{MF}$) em cultivares de *Coffea arabica* submetidos a diferentes níveis de radiação solar. Média de três repetições.

Cultivares.	Níveis de Radiação					Média
	100%	70%	50%	C.V*	30%	
Acaia	19.6 B	15 B	15.0 B	7.8 B	12.0 B	13,9 B
Rubi	23.6 A	11.6 C	16.2 A	7.0 B	6.7 C	13,0 C
Catuai	19.7 B	15.4 B	10.0 D	10.1 A	13.4 A	13,8 B
Icatu	20.1 B	21.9 A	13.6 C	7.2 B	13.5 A	15,1 A
Média	20.7 a	16.0 b	13.7 c	8.0 e	11.4 d	
CV	2.70%					

*C.V = Casa-de-vegetação correspondendo a 36% de radiação solar

5 CONCLUSÕES

De maneira geral os cultivares não diferiram no comportamento fisiológico quando comparadas entre si na mesma condição de sombreamento e quando comparadas em condições de sombreamento diferentes.

Embora as plantas mantidas em casa-de-vegetação apresentaram um melhor desenvolvimento, foram obtidas nessas condições baixa transpiração e condutância estomática, a princípio, devido ao DPV, o que proporcionou as menores taxas de fotossíntese líquida e potencial.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, P.T. Recientes progressos em nuestro conocimiento del arbol de café. I Fisiologia. In: INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. **Progressos en la tecnica de la production de café.** Turrialba, Costa Rica, 1958. p.11-28.
- ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C. *In vivo* nitrate reduction in roots and shoots of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings in light darkness. **Plant Physiology**, Rockville, v.70, n.4, p.9-13, Oct. 1982
- ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C.; RAINS, D.W.; RAO, K.P. Influence of light and ambient carbon dioxide concentration on nitrate assimilation by intact barley seedlings. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.53, n.1, p.205-209, Jan. 1979
- ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C.; TRAVIS, R.L. The interaction of respiration and photosynthesis in induction of nitrate reductase activity. **Plant Physiology**, Rockville, v.52, n.2, p.137-141, Aug. 1973
- BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. Nitrate and nitrite reduction. In: MIFLIN, B.J. (ed.). **The Biochemistry of plants: amino acids and derivatives.** New York: Academic Press, 1980. v.5, p.115-68.
- BEEVERS, L.; SCHRADER, L.E.; FLESCHER, D.; HAGEMAN, R.H. The role of light and nitrate in the induction of nitrate reductase in radish cotyledons and mayze seedlings. **Plant Physiology**, Rockville, v.40, n.4, p.691-698, July 1965.
- BORNEMISZA, E. Nitrogen cycling in coffee plantations. **Plant Soil**, Dordrecht, v.67, n.2, p.241-246, 1982.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v.72, p.248-254, 1976.
- BUTTNER, W.L.; KATAJIMA, M. Fluorescence quenching in photosystem II of chloroplasts. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v.376, p.116-125, 1975.

- CAIRO, P.A.R. **Aspectos biofísicos e metabólicos de plantas jovens de espécies florestais associados á disponibilidade de água no solo.** Lavras: ESAL, 1992. 124p. (Dissertação – Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- CAMPOSTRINI, E. **Potencialidade fotossintética de cinco genótipos de *coffea canephora* Pierre.** Viçosa: UFV, 1994. 40p. (Dissertação – Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- CARVAJAL, J.F.; ACEVEDO, A.; LOPEZ, C.A. Nutrient uptake by coffee tree during a yearly cycle. **Turrialba**, San José, v.19, n.1, p.13-20, ene./mar. 1969.
- CARVALHO, F. Estudos da atividade da nitrato redutase em mudas de café (*coffea arábica* L.) cultivados à meia sombra e a pleno sol e sob as formas nítricas e amoniacal de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1975. p.208-210.
- CASTILHO Z.J. Ensayo de analisis del crecimiento em café. **Cenicafé**, Chinchiná, v.12, n.1, p.1-16, ene./mar. 1961.
- CLAUSSEN, W. Influence of fruit load na enviromental factors on nitrate reductase activity and concentration of nitrate and carbohydrates in leaves of eggplant. (*Solanum melongena*) **Physiologia Plantarum** , Copenhagen, v.67, n.1, p.73-80, May 1986
- CORDEIRO, A.T.; RENA, A.B.; MENDES, L.F.; ALVES, J.D.; PEREIRA, A.A. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens e adultas de *Coffea arabica* L. , à luz e na obscuridade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1984. p.77-79.
- DA MATTA, F.M. **Desempenho fotossintético do cafeeiro em resposta a tensões abióticas.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 67p. (Tese - Doutorado em Fisiologia Vegetal)
- DELIEU, T.J.; WALKER, D.A. Simultaneous measurement of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence from leaf pieces. **Plant physiology**, Rockville, v.73, n.3, p.534-541, Nov. 1983.

- DIETZ, K.J; SHREIBER,U;HEBER, U. The relationship between the redox state of Q_A and photosynthesis in leaves at various carbon – dioxide, oxygen and light regimes. *Planta*, Berlin, v.66, n.2, p.219-226, Oct. 1985
- FAHL, J.I. **Influência da irradiância e do nitrogênio na fotossíntese e crescimento de plantas jovens de café (*Coffea arabica* L.)**. Campinas: UNICAMP, 1989. 84p. (Tese de Doutorado).
- 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*, Ashford, v.69, n.1, p.161-169, jan. 1994.
- FALEIROS, R.R.S.; MELO, W.J.; CARVALHO, F.; MIRANDA NETO, A.T. Atividade da nitrato redutase e desenvolvimento de mudas de café e desenvolvimento de mudas de *Coffea arabica* L. (café). *Científica*, Jaboticabal, v.3, n.2, p.277-283, 1975.
- FREITAS, R.B. de. **Avaliações ecofisiológicas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) em diferentes sistemas de cultivos**. Lavras – MG: UFLA, 2000. 57p. (Dissertação - Mestrado em Fisiologia Vegetal)
- HORTON, R.; HAGUE, A. Studies of the induction of chlorophyll fluorescence in isolated barley protoplasts. IV Resolution of non photochemical quenching. *Biochimica et Biophysica Acta*, Amsterdam, v.932, p.107-115, 1988.
- JANDA, T.; SZALAI, G.; KISSIMON, J.; PÁLDI, E.; MARTON, C.; SZIGETI, C. Role of irradiance in the chilling injury of young maize plants studied by chlorophyll fluorescence induction measurement. *Photosynthetica*, Prague, v.30, p.293-299, 1994.
- KLEPPER, L.; FLESHER, D.; HAGEMAN, R.H. Generation of reduced nicotinamide adenine dinucleotide for nitrate in green leaves. *Plant Physiology*, Rockville, v.48, n.5, p.580-590, Nov. 1971
- KUMAR, D. Some aspects of the physiology of *Coffea arabica* L. **Kenya Coffee**, Nairobi, v.44, p.9-47, 1979.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v.16, n.1, p.13-19, Jan. 1980.

- LEMOS, G.B de. **Crescimento e atividade de enzimas de assimilação do nitrogênio em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) cultivadas com diferentes relações de nitrato e amônio.** Lavras: UFLA, 1996. 56p. (Dissertação – Mestrado em Fisiologia Vegetal).
- LYONS, J.M. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.445-466, 1973.
- MAESTRI, M. ; GOMES, F.R. Crescimento de mudas de café (*Coffea arabica* L. var Bourbon) sob diferentes níveis de luz. **Revista Ceres**, Viçosa, v.10, n.59, p.324-31, jul./dez. 1958.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, Y. (eds). **Cultura do cafeeiro: Fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.165-274.
- MAZZAFERA, P.; GUERREIRO FILHO, O. **A produtividade do cafeeiro.** Campinas: IAC, 1991. 21p.
- MEGURO, N.E. **Alterações da atividade da redutase de nitrato e da resistência à difusão do vapor d'água em plantas de café submetidas a condições de eficiência hídrica.** Campinas: UNICAMP, 1981. 114p. (Dissertação de Mestrado).
- MELO, B. de; BARTHOLO, G.F.; MENDES, A.N.G. **Café: variedades e cultivares. Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.193, p.92-96, 1998.
- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v.31, p.426-428, 1959.
- MIRANDA NETO, A.T. de. **Assimilação do azoto em mudas de café (*Coffea arabica* L.), cultivadas sob diferentes níveis de sombra e formas de azoto.** Viçosa: UFV, 1970. 38p. (Dissertação de Mestrado).
- NUNES, M.A.; RAMALHO, J.D.C.; DIAS, M.A. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light, **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.44, n.262, p.893-899, May 1993.

- NUTMAN, F.J. Studies of the physiology of *Coffea arabica*. I Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. **Annals of Botany**, London, v.1, p.353-367, 1937.
- OSTENDORF, F.W. The coffee shade problem. A review article. **Tropical Abstracts**, Amsterdam, v.17, p.577-581, 1962.
- PETERSON, R.B.; SIVAK, M.N.; WALKER, D.A. Relationship between steady state fluorescence yield and photosynthetic efficiency in spinach leaf tissue. **Plant Physiology**, Rockville, v.88, n.1, p.158-163, Sept. 1988.
- RADENOVIC, C.; MARKOVIC, D.; JEREMIC, M. Delayed chlorophyll fluorescence in plant models (Rev.). **Photosyntética**, Prague, v.30, p.1-24, 1994.
- REED, A.J.; CANVIN, D.T.; SHERRARD, J.H.; HAGEMAN, R.H. Assimilation of $|N^{15}|$ nitrite in leaves of five plant species under light and dark conditions. **Plant Physiology**, Rockville, v.71, n.2, p.291-294, Feb. 1983.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. Fisiologia do cafeeiro, p.165-274.
- RUFY, T.W.; VOLK, R.J.; McCLURE, P.R.; ISRAEL, D.W.; RAPER Jr, C.D. Relative content of NO_3^- and reduced N Xylem exudate as an indication of root reduction of concurrently absorbed $15 NO_3^-$. **Plant Physiology**, Rockville, v.69, n.1, p.166-170, Jan. 1982.
- SAWHNEY, S.K.; NAIR, M.S.; NICHOLAS, D.J.D. Regulation of NADH supply for nitrate reduction in green plants via photosynthesis and mitochondrial respiration. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, San Diego, v.81, p.209-616, 1978.
- SHIVASHANKAR, S.; RAJGOPAL, K. Diurnal rhythm in nitrate reductase activity of *Cocos nucifera* L leaves. **Zeitschrift Pflanzenphysiologie**, Stuttgart, v.112, p.181-185, 1983.
- SHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v.148, n.3668, p.339-346, Apr. 1965

- SIFFEL, P.; DURCHAN, M.; KUETON, J.; ONDREJ, M.; SESTAR, Z. Photosynthesis in regenerants of tobacco transformed by plasmids of *Agrobacterium* II. Fluorescence emission spectra and age induced changes in slow fluorescence induction. *Photosynthetica*, Prague, v.22, p.214-220, 1988.
- SILVEIRA, A.J.; MAESTRI, M. Crescimento de mudas de café (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon) sob quatro níveis de luz, em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v.20, n.111, p.354-369, set./out. 1973.
- SMILLIE, R. M.; HETHERINGTON, S.E. Stress tolerance and stress-induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence in vivo: chilling, freezing, ice-cover, heat and high light. *Plant Physiology*, rockville, v.72, n.4, p.1043-1050, Aug. 1983.
- SONDAHL, M.R.; CROCOMO, O. J.; SODEK, L. Measurements ^{14}C incorporation by illuminated intact of coffee plants from gas mixtures containing $^{14}\text{CO}_2$. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.27, n.101, p.1187-1195, Dec. 1976.
- SONDAHL, M.R.; TEH, K.H.. Taxas fotossintéticas em folhas intactas de cultivares de *coffea arabica* determinada pelo IRGA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 8., 1980, Campos do Jordão. *Resumos...* Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1980. p.87-90.
- TIÓ, M.A. Effect of light intensity on the rate of apparent photosynthesis in coffee leaves. *Journal Agriculture of the University of Puerto Rico*, San José, v.46, n.1, p.159-166, 1962.
- VIANA, A.S. **Aclimação e poda das folhas de mudas de cafeeiro *Coffea arabica* L. cv. Catuaí, visando a adaptabilidade às condições de campo.** Lavras – MG: UFLA, 1981. 65p. (Dissertação – Mestrado).
- VOLTAN, R.B.Q.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v.4, n.2, p.99-105, 1992.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, Colchester, v.57, n.3, p.508-515, Nov. 1954.