



**PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFEEIRO
(*Coffea arabica* L.) EM DIFERENTES NÍVEIS
DE SOMBREAMENTO E SEUS REFLEXOS
NA IMPLANTAÇÃO.**

LEANDRO CARLOS PAIVA

2001

52428
MFN-37166

LEANDRO CARLOS PAIVA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFEIEIRO (*Coffea arabica*
L.) EM DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E
SEUS REFLEXOS NA IMPLANTAÇÃO.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

ORIENTADOR

Prof. Dr. Rubens José Guimarães

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

2001

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

Paiva, Leandro Carlos

Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes níveis de
sombreamento e seus reflexos na implantação / Leandro Carlos Paiva. – Lavras :
UFLA, 2001.

61 p. : il.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Muda. 2. Café. 3. Irradiação solar. 4. Fisiologia. 5. Anatomia. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.7335

LEANDRO CARLOS PAIVA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFEEIRO (*Coffea arabica*
L.) EM DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E
SEUS REFLEXOS NA IMPLANTAÇÃO.**

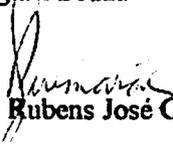
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 10 de setembro de 2001.

Prof. Dr. José Donizeti Alves UFLA

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes UFLA

Prof. Dr. Carlos Alberto Spaggiari Souza UFLA


Prof. Dr. Rubens José Guimarães

UFLA

(Orientador)

Lavras

Minas Gerais - BRASIL

*A Deus,
pelas oportunidades que me fizeram a pessoa que sou hoje.*

OFEREÇO

A meus pais Osvaldo Carlos Paiva e Eliana Cagnani Leite Paiva, cujo exemplo de força, humildade e trabalho sempre me foi tomado como exemplo.

A meus avós Dora, João, Lúcia que me apoiaram em todos os momentos.

A minha irmã Elaine, que nunca negou esforços para me ajudar, ao seu marido Paulo e principalmente ao meu futuro sobrinho(a).

A minha Tia Ana que sempre foi meu exemplo de inteligência e personalidade.

Aos meus tios Luciane e Neno que me deram o exemplo de trabalho e me mostraram a beleza da cultura do café na qual dedico de toda minha alma.

A minha noiva Elisângela pelo carinho e amor, sempre ao meu lado em todas as dificuldades e felicidades e aos seus pais e familiares pelo carinho e tolerância para comigo.

A todos que direta e indiretamente torceram pelo meu sucesso.

DEDICO

Ao meu avô Osvaldo Paiva (in memoriam), exemplo de pessoa e que tem sua luz junto de nós até hoje.

DEDICO EM ESPECIAL

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me guiou em meus passos com a beleza de sua luz e
amor.

A Universidade Federal de Lavras, que me proporcionou toda minha
formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),
pela concessão da bolsa de estudos.

Ao departamento de Agricultura, setor de cafeicultura e Núcleo de Estudos
em Cafeicultura que me apoiou na construção de todos meus experimentos.

Ao Prof. Rubens José Guimarães, que me deu total liberdade para que
desenvolvesse meu projeto e que cuja orientação é a maior responsável pela
concepção do profissional no qual me tornei.

Ao Prof. Carlos Alberto Spaggiari Souza, pela grande amizade e por se
tornar um exemplo de pessoa para mim.

Ao Prof. Evaristo Mauro de Castro, cujo belíssimo trabalho enriqueceu e
muito meu projeto.

Ao Prof. José Donizzeti Alves, pela ajuda em equipamentos, laboratório e
principalmente pela contribuição profissional inestimável.

Ao Prof. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, que sempre me apoiou nos
trabalhos e foi responsável pelo início de minha carreira de pesquisador.

Ao amigo e quase irmão Luciano e sua família que sempre me orientou e
ajudou nos trabalhos.

Aos colegas César E. Botelho, Fábio P. Dias, Alexandre S. Morii, Sirley,
Leonardo, Karina, Edilene, João Vieira, Haroldo, Gustavo, e Fernando.

A todos do Departamento de Biologia da UFLA e Setor de Fisiologia.

Aos funcionários José Maurício, Avelino, João Batista pela ajuda.

Em fim a todos que de uma forma ou de outra ajudaram na construção desse
trabalho.

BIOGRAFIA

LEANDRO CARLOS PAIVA, filho de Osvaldo Carlos Paiva e Eliana Cagnani Leite Paiva, nasceu em 15 de julho de 1976 em Poços de Caldas , Minas Gerais.

Formou-se Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho em 1993.

Graduou-se Engenheiro Agrônomo, na Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, em 1999.

Especializou-se em cafeicultura pelo Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF) nos anos de 1996 a 1999, fazendo parte da coordenadoria do mesmo durante este período.

Iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia/Cafeicultura, UFLA, em setembro de 1999.

Concluiu o referido curso em setembro de 2001.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 Introdução.....	1
2 Referencial Teórico.....	3
2.1 Considerações Sobre Mudanças a Pleno Sol.....	3
2.2 Determinação de Clorofila.....	5
2.3 Aspectos de Crescimento.....	6
2.4 Aspectos Anatômicos.....	8
2.5 Aspectos Fisiológicos.....	10
3 Material e Métodos.....	16
3.1 Considerações Gerais.....	16
3.2 Avaliação Quanto a Crescimento.....	20
3.3 Avaliações com Aparelho IRGA.....	21
3.4 Análises Anatômicas.....	21
3.5 Avaliações de Clorofila.....	22
3.6 Análise de Dados.....	22
4 Resultados e Discussão.....	25
4.1 Experimento 1.....	25
4.1.1 Medidas de Crescimento.....	25
4.1.2 Determinação de Clorofila.....	31
4.1.3 Análises Anatômicas.....	35
4.1.4 Análises Fisiológicas.....	44
4.2 Experimento 2.....	49
4.2.1 Análise de Crescimento.....	49
4.3 Considerações finais.....	54
5 Conclusões.....	55
6 Referências Bibliográficas.....	56

LISTA DE TABELAS

PÁGINA

TABELA 01: Análise do substrato utilizado para o experimento 1 de mudas de cafeeiro formadas em diversos tipos de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 1999.....	18
TABELA 02: Análise do substrato utilizado para o experimento 2 de mudas de cafeeiro formadas em diversos tipos de sombreamento e plantadas em baldes. UFLA, Lavras – MG, 2000.....	19
TABELA 03: Quadro de análise de variância para o efeito do sombreamento sobre as medidas Crescimento. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	25
TABELA 04: Valores médios de altura [ALT] e diâmetro da planta [DIAM], n° de pares de folhas [NPAR], peso da porção aérea [PSPA], da porção radicular [PSR] e total da planta [PTOT], porção aérea (%) [%PSPA], porção radicular (%) [%PSR] e área foliar [AF] em função dos tratamentos de radiação solar ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.....	27
TABELA 05: Quadro de análise de variância para o efeito do sombreamento sobre as medidas de Clorofila. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	32
TABELA 06: Valores médios de clorofila total [CLFT], “a” [CLFA] e “b” [CLFB] e proporção das clorofilas “a” [%CLFA] e “b” [%CLFB] em função dos tratamentos de radiação solar ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.....	33
TABELA 07: Quadro de análise de variância para o efeito do sombreamento sobre as medidas anatômicas. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	35

TABELA 08: Valores médios de número de estômatos [NE], diâmetro polar [DPOL] e equatorial [DEQT] ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.....	36
TABELA 09: Quadro de análise de variância e respectivos níveis de significância para as variáveis: espessura da folha [ESP] porcentagem de tecido paliçádico na folha [%TP], porcentagem de espessura da camada epidérmica [%EP] e porcentagem de tecido lacunoso [%TL] de mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	41
TABELA 10: Valores médios de número de espessura de epiderme [ESP], % de tecido epidérmico [%EP], % de tecido paliçádico [%TP] e % de tecido lacunoso[%TL] ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,01$). UFLA, Lavras – MG, 2001.....	42
TABELA 11 : Valores de radiação de luz $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apresentados por ocasião da tomada dos dados através do aparelho IRGA. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	44
TABELA 12 : Quadro de análise de variância e respectivos níveis de significância para as variáveis: radiação fotossinteticamente ativa, transpiração, temperatura condutância estomática, fotossíntese líquida e concentração de CO_2 de mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	45
TABELA 13: Valores médios de radiação fotossinteticamente ativa, transpiração, temperatura foliar condutância estomática, fotossíntese líquida e concentração de CO_2 na câmara sub-estomática em função dos níveis de sombreamento, ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.....	47

TABELA 14: Quadro de análise de variância e respectivos níveis de significância para as variáveis: altura [ALT], diâmetro [DIAM], número de ramos plagiográficos [NRPLG], massa seca de parte aérea [PSPA], massa seca de raiz [PSR] taxa de crescimento relativo de massa seca de parte aérea [TCRPSPA], taxa de crescimento relativo de massa seca de raiz [TCRPSR] de mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras – MG, 2001..... 49

TABELA 15: Valores médios de altura [ALT] e diâmetro da planta [DIAM], nº de ramos plagiotropicos [NRPLAG], peso da porção aérea [PSPA], da porção radicular [PSR], taxa de crescimento relativo de parte aérea [TCRPSPA] e raiz [TCRPSR] em função dos tratamentos de radiação solar por ocasião da formação das mudas de cafeeiro sendo ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras - MG, 2001..... 50

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

- FIGURA 01:** Valores médios e intervalos de confiança de 95% e ajustes obtidos para altura e diâmetro da planta. UFLA, Lavras– MG, 2001..... 28
- FIGURA 02:** Valores médios e intervalos de confiança de 95% e ajustes obtidos para número de pares de folhas e área foliar. UFLA, Lavras – MG, 2001..... 29
- FIGURA 03:** Valores médios e intervalos de confiança de 95% e ajustes obtidos para biomassa total da planta e das porções aérea e radicular. UFLA, Lavras – MG, 2001..... 30
- FIGURA 04:** Mudanças de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) aos 6 meses após plantio, cultivadas respectivamente a pleno sol, sombrite de 30% de sombreamento, 50% e 90%. A régua corresponde a 15 cm. UFLA,Lavras–MG, 2001..... 31
- FIGURA 05:** Valores médios e intervalo de confiança de 95% de clorofila total, clorofila “a” e clorofila “b” em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras–MG, 2001..... 34
- FIGURA 06:** Valores médios e intervalo de confiança de 95% de proporção das clorofilas “a” e “b” em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001..... 34
- FIGURA 07:** Valores médios e intervalo de confiança de 95% para o valor número de estômatos em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras–MG, 2001..... 36
- FIGURA 08:** Células da epiderme adaxial de folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). A barra corresponde a 50µm. UFLA, Lavras - MG, 2001..... 38

FIGURA 09: Células da epiderme abaxial de folhas de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.). A barra corresponde a 50µm. UFLA, Lavras - MG, 2001.....	38
FIGURA 10 Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) a pleno sol. A barra corresponde a 50µm. UFLA, Lavras - MG, 2001.....	39
FIGURA 11: Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) sob o nível de 30% de irradiância. A barra corresponde a 50µm. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	39
FIGURA 12: Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) sob o nível de 50% de irradiância. A barra corresponde a 50µm. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	40
FIGURA 13: Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) sob o nível de 90% de irradiância. A barra corresponde a 50µm. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	40
FIGURA 14: Valores médios e intervalo de confiança de 95% para os valores % de epiderme, % tecido paliçádico e % de mesofilo foliar em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	42
FIGURA 15: Espessura Foliar (µm) em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	43
FIGURA 16: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de RFA e CCO ₂ em função dos níveis de sombreamento e os respectivos ajustes obtidos. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	46

FIGURA 17: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de taxa de transpiração e temperatura da folha em função dos níveis de sombreamento e os respectivos ajustes obtidos. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	48
FIGURA 18: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de condutância estomática e fotossíntese líquida em função dos níveis de sombreamento e os respectivos ajustes obtidos. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	48
FIGURA 19: Valores médios e ajustes obtidos para altura de plantas e diâmetro de caule. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	51
FIGURA 20: Valores médios e ajustes obtidos para massa seca de parte aérea e raiz. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	52
FIGURA 21: Valores médios e ajustes obtidos para número de ramos plagiotropicos, massa seca de parte aérea e raiz. UFLA, Lavras – MG, 2001.....	53

RESUMO

PAIVA, Leandro Carlos Paiva. Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes níveis de sombreamento e seus reflexos na implantação. Lavras - MG: UFLA, 2001. 61p. (Dissertação – Mestrado em Fitotecnia)*

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o processo de formação de mudas de cafeeiro sob diferentes níveis de radiação. O experimento foi conduzido no setor de cafeicultura do Departamento de Agricultura no setor de cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, sendo ele formado por duas etapas. Na primeira, mudas de cafeeiro foram formadas em quatro diferentes tipos de luminosidade, mudas a pleno sol e em sombrites de 30%, 50% e 90% de sombreamento, e os tratamentos foram dispostos em um delineamento em blocos casualizados, sendo 4 o número destes. Esse experimento foi conduzido até que as mudas apresentassem de três a quatro pares de folhas. Na segunda etapa, plantas do primeiro experimento foram aclimatadas por um mês e transplantadas em baldes de 10 litros em um delineamento de blocos casualizados, sendo 6 o número destes por tratamento e 3 plantas úteis por um período de 6 meses. As análises constituíram de: para o primeiro experimento, análises de crescimento (altura, diâmetro de caule, número de pares de folha, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea e área foliar), análises anatômicas (número de estômatos, diâmetro polar, diâmetro equatorial, espessura foliar, porcentagem de tecido paliçádico, porcentagem de epiderme foliar e porcentagem de tecido lacunoso), análises bioquímicas (clorofilas "a" e "b" e total) e análises fisiológicas através do aparelho IRGA-LCA4 (radiação fotossinteticamente ativa, transpiração, temperatura, condutância estomática, fotossíntese líquida e concentração de CO₂). Para o segundo experimento apenas as análises de crescimento foram feitas. Através dos resultados dos experimentos concluiu-se que, para as variáveis de crescimento analisadas, as mudas em sombrite de 50% foram melhores seguidas de 90%, 30% e pleno sol. Existe também maior produção de clorofila "b" à medida que se aumenta o sombreamento. A adaptação apresentada, quanto aos estômatos, é através do número dos mesmos na folha, sendo que o número máximo foi obtido em 30%, seguido de 50%, pleno sol, sem diferença significativa entre eles, e 90% de sombreamento que se diferiu dos demais. As adaptações morfológicas da folha de cafeeiro são, principalmente, espessura de folha (que aumenta com o sombreamento) e quanto ao tecido lacunoso (que apresenta espaços maiores entre as células à medida que se aumenta o sombreamento). As maiores taxas de

* Comitê Orientador: Prof. Rubens José Guimarães - UFLA (Orientador), José Donizeti Alves - UFLA.

fotossíntese líquida foram obtidas a 50% de sombreamento devido ao fato -dessa condição proporcionar taxas maiores de transpiração e condutância estomática. Para o segundo experimento as plantas de maior desenvolvimento foram aquelas originadas dos tratamentos de 50% de sombreamento seguidas de 90%, 30% e a pleno sol.

ABSTRACT

PAIVA, Leandro Carlos Paiva. Production of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) under different levels of shading and their reflexes on the establishment . Lavras-MG: UFLA, 2001.61p. (Dissertation – Master of Science in Crop Science)*

The present work was designed to evaluate the process of formation of coffee seedlings under different levels of radiation. The experiment was conducted in the coffee culture sector of the Agriculture department of the Universidade Federal de Lavras (Federal University of Lavras), its being made up of two steps. In the first one, coffee seedlings were made up under four different sorts of lighting seedlings under full sunshine and under screens of 30%, 50% and 90% of shading, where the treatments were arranged in a randomized block design , the number of blocks being four. That experiment was conducted until the plants presented of three to four pairs of leaves. In the second step, plants from the first experiment were acclimated for one month and transplanted in 10 liter buckets in a randomized block design, the number of blocks being six and three useful plants for a period of six months. The analyses consisted of : for the first experiment, growth analyses (height, stem diameter, number of pairs of leaves, root dry matter, shoot dry matter, leaf area), anatomical analyses (number of stomata, polar diameter, equatorial diameter, leaf thickness, percentage of palisade tissue, percentage of leaf epidermis and percentage of lacuna tissue), biochemical analyses (total, “a” and “b” chlorophyll) and physiological analyses through the IRGA-LCA4 apparatus (photosynthetically active radiation, transpiration, temperature, stomatal conductance, net photosynthesis and CO₂ concentration). For the second experiment, only the growth analyses were done. From the results of the experiments, it follows that for the variables of growth investigated, the seedlings under screen of 50% were better, followed by 90%, 30% and under full sunshine. There is a higher production of chlorophyll “b” as the shading is increased. The adaptation presented as to the stomata is through the number of the same in the leaf, the maximum number was obtained in 30%, followed by 50%, full sunshine, without significant differences among them and 90% of shading differing from the others. The morphologic adaptations of the coffee tree leaf are mainly: leaf thickness (which increases with shading) and regards the lacuna tissue (which presents larger spaces between the cells as the shading is increased). The highest rates of net photosynthesis were obtained at 50% of shading to the fact of that condition providing higher rates of transpiration and stomatal conductance. For the second experiment, the most developing plants of were the ones from the treatments of 50% of shading followed by 90%, 30% and under full sunshine.

* Guidance Committee: Rubens José Guimarães - UFLA (Major Professor), José Donizeti Alves - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Minas Gerais é o maior Estado produtor de café do Brasil (50% da safra brasileira) e o sul de Minas Gerais é responsável por 50% da produção do estado, (Mendes et al., 1995). Portanto é grande a importância e a responsabilidade da cafeicultura e também das pessoas que nela trabalham.

Devido ao caráter perene das plantas de café é que se justifica todo um cuidado especial na produção de mudas sadias. Esse processo é o início da implantação de uma lavoura que trará produção para cerca de 10 a 20 anos ou mais, dependendo dos tratos e do rendimento da lavoura. Com isso, podemos dizer que uma lavoura mal formada, cujas plantas apresentaram desenvolvimento desigual e/ou apresentam falhas na lavoura, refletirão em perda de produção, desuniformidade de grãos e de maturação, o que acarretará em perdas econômicas.

A muda é o resultado final da produção em um viveiro, sendo que uma planta bem formada no mesmo, deve levar consigo toda uma reserva de nutrientes e estrutura adequada para suportar o plantio no campo, resistindo com isso às adversidades do novo ambiente e se adaptando ao mesmo.

Os viveiros, para mudas de cafeeiro em saquinhos de polietileno utilizados atualmente, são das mais variadas formas e construídos dos mais variados materiais. Porém todos devem apresentar um padrão, ou seja, os saquinhos são dispostos no chão em canteiros planejados, afim de se adequarem às condições de manejo; os viveiros devem ser cobertos com material que deixe passar 50% de luz (bambú, ripado, sombrite e etc.), evitando insolação direta nas mudas; a cobertura pode ser alta (cerca de 1,8 m a 2,2 m) ou baixa (1,5m) e deve ser perpendicular ao caminhar do sol e feita dos mais variados materiais (como: bambú, ripado, sombrite, napier, etc.), sempre visando a manter o sombreamento em 50%. Tais

recomendações são há muito tempo utilizadas e se tornaram padrão para formação de mudas.

Apesar da tradição de formação de mudas a 50% de sombreamento, alguns produtores resolveram formar estas mudas a pleno sol, visando, principalmente, a produzir mudas mais adaptadas e resistentes ao ambiente além de economizar em estrutura para o viveiro, diminuindo o custo da muda. Há, porém, uma certa dificuldade na manutenção da umidade, sendo a irrigação, por sua vez, mais necessária e usada neste tipo de formação de mudas. Isso restringe seu uso em propriedades onde a água é mais difícil, mas por outro lado, essa técnica traz economia na construção do viveiro e torna sua construção mais fácil de se implantar, viabilizando o processo daqueles produtores que não formam mudas todos os anos, como os viveiristas profissionais.

Sabemos também que o cafeeiro é uma planta C_3 e por isso não tolera grandes níveis de radiação em seu local de origem, ela ocorre então em condições de sub-bosque.

Dentre as áreas de conhecimento da cafeicultura, a de fisiologia do cafeeiro e anatomia têm papel fundamental, pois o entendimento profundo da maioria dos problemas que afetam o cafeeiro e até a qualidade do produto final, dependem do conhecimento dessas áreas.

Devido ao fato dos experimentos nesta área, de formação de mudas em diferentes níveis de radiação, serem escassos e sem uma conclusão voltada à formação de mudas de cafeeiro é que justifica o estudo da real viabilidade dessa técnica. O objetivo do presente trabalho foi verificar se a muda de café (*Coffea arabica* L.) possui adaptações morfológicas e fisiológicas satisfatórias a um desenvolvimento a diferentes níveis de radiação e com um desenvolvimento também satisfatório dessas mudas após o plantio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações sobre mudas a pleno sol

A produção de mudas de cafeeiro a pleno sol já é uma técnica utilizada por viveiristas e produtores. Seus resultados e utilizações são feitos na maioria das vezes por observações, havendo a necessidade de trabalhos científicos que possam mostrar a real possibilidade de utilização do método. Um destes trabalhos de Matiello et al. (1997) observou, em dois viveiros de um milhão de mudas produzidas nesta técnica, na região de Manhuaçu e Lajinha, na Zona da Mata mineira, que as mesmas tiveram seus valores de comprimento de sistema radicular, peso da parte aérea e peso do sistema radicular, praticamente iguais e altura com tendência a ser superior, sendo que a relação sistema radicular / parte aérea foi maior. Com esses resultados observados criou-se uma grande expectativa para a produção de mudas a pleno sol.

Em outras espécies foram observados sistemas de adaptações ao sol pleno, o que confirma a necessidade de estudos que verifiquem se o mesmo acontece com o cafeeiro.

Os estômatos são estruturas fundamentais através das quais as plantas estabelecem as trocas gasosas com o ambiente. Portanto, qualquer variação de número e/ou tamanho destes podem acarretar maior ou menor eficiência da planta, seja tanto na taxa fotossintética como na eficiência do uso da água (Sun et al., 1995). Em *Fragaria virginiana*, uma espécie adaptada à sombra, o aumento da intensidade luminosa promove um acréscimo na quantidade dos tecidos do mesófilo e do parênquima paliçádico, ocorrendo em várias camadas organizadas, as quais determinam um aumento na capacidade fotossintetizante das folhas. Este

aumento ocorre dentro de um certo limite, acima do qual a capacidade fotossintetizante decresce devido a foto-oxidação dos pigmentos (Chabot, Jurik e chabot, 1979).

Um exemplo é o de Castro et al. (1998) que avaliaram os efeitos da luz sobre a anatomia foliar de mudas de *Guarea guidonea*, submetidas a 100%, 67% e 48% da radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.). Através de estudos anatômicos de folhas com material fixado em formaldeído, ácido acético e álcool etílico (F.A.A), foram realizados cortes paradérmicos e cortes seriados transversais, mediante técnicas usuais utilizadas em histologia vegetal. Os resultados demonstraram que os níveis 67% e 48% da R.F.A. apresentaram uma menor frequência estomática acompanhada de um menor índice estomático em relação às mudas cultivadas a 100% R.F.A. (Pleno Sol). Com relação ao diâmetro polar dos estômatos, este se apresentou maior no nível 48% da R.F.A. e para o equatorial não houve diferença significativa entre os níveis de R.F.A. Foi observado no mesófilo, um aumento no desenvolvimento de tecido paliádico das plantas cultivadas em 100% da R.F.A. em relação às cultivadas em 48% e 67% da R.F.A. Tais resultados demonstram a adaptação das mudas de *Guarea guidonea* em um sistema de produção a pleno sol.

Nesta mesma espécie, foi estudado o desenvolvimento das folhas sob diferentes regimes de luz e foi verificado que a expansão foliar foi atingida mais rapidamente em intensidades luminosas mais elevadas (Jurik, chabot e chabot, 1979).

Alvarenga et al. (1998) avaliaram, também em mudas de guarea [*Guarea guidonea* (L.) Sleumer - Meliaceae], o desenvolvimento sob condições de viveiro, tendo sido testados três níveis de sombreamento (pleno sol, 30% e 50%), avaliando a altura, diâmetro do caule, peso da matéria seca total, folhas, caule e raiz, área foliar, relação raiz/parte aérea e quantificações de clorofilas "a", "b" e total. Foram

realizadas aos 230 dias após a repicagem das plântulas, permitindo concluir que *Guarea guidonea*, na fase de muda, apresentou-se com melhor desenvolvimento vegetativo com 50% de sombreamento. Com relação aos teores de clorofila, foram observadas tendências de queda com aumento progressivo da intensidade luminosa, fatos esses que determinam a sua maior aptidão para condições sombreadas na fase de viveiro.

2.2 Determinação de Clorofila

As clorofilas são moléculas fundamentais às plantas superiores e a outros organismos como, por exemplo, as algas. Dentro de uma série de fatores que afetam a biossíntese e os níveis destas moléculas nas folhas, como nutrientes inorgânicos, água, temperatura e idade da folha, a luz desempenha um papel chave (Whatley e Whatley, 1982). Kramer e Kolowski (1979) afirmaram que as clorofilas estão sendo constantemente sintetizadas e degradadas na presença de luz. Assim sendo, sob altas intensidades de radiação há uma maior degradação foto-oxidativa de clorofilas, sobretudo “a” e “b”, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa. Portanto, folhas sob condições de sombra possuem uma maior concentração de clorofila.

Folhas de plantas cultivadas sob baixas intensidades de irradiações apresentam maior teor de clorofilas por unidade de peso ou volume de folha, porém, o teor de clorofilas por unidade de superfície é freqüentemente mais baixo em comparação às folhas submetidas a irradiações mais altas. Assim, os aumentos no tamanho dos cloroplastos e na quantidade de clorofilas em cada cloroplasto nas plantas sob sombra podem ser compensados pelo decréscimo do número destes por unidade de área foliar (Boardman, 1977).

A principal diferença entre a clorofila “a” e “b” está no grupamento metil presente no terceiro carbono, no caso da clorofila “a”. Para a clorofila “b”, temos um grupamento aldeído. Essa diferença molecular torna diferente os espectros absorvidos pelas duas clorofilas, Devlin e Witham (1983).

De uma maneira geral, considera-se que as razões entre clorofilas “a” e “b” tendem a cair com a diminuição da intensidade de radiação (Boardman, 1977; Kramer e Koslowski, 1979). Vários autores têm relatado diminuições desta razão em folhas, submetidas a baixas intensidades de irradiância (Bjorkman e Holmgren, 1963; Tinoco e Vasques-Yanes, 1985; Engel, 1989) enquanto outros não encontraram diferenças (Inoue, 1983; Nygren e Kellomaki, 1983/1984).

2.3 Aspectos de Crescimento

O crescimento das plantas resulta de correlações internas envolvendo carboidratos, hormônios, água e minerais. Embora a fotossíntese seja considerada o maior processo fisiológico do crescimento (Kozłowski, 1962, citado por Engel, 1989), por fornecer a matéria prima necessária, o desenvolvimento de uma árvore envolve importantes mecanismos regulatórios de conversão e distribuição de assimilados.

A adaptação das plantas ao ambiente de luz depende do ajuste de seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível. As respostas dessa adaptação serão refletidas no crescimento global da planta, Engel (1989).

Assim, a eficiência do crescimento pode ser relacionada à habilidade de adaptação das plântulas às condições de intensidade luminosa do ambiente; freqüentemente, as análises do crescimento são utilizadas para predizer o grau de tolerância das diferentes espécies ao sombreamento, Engel (1989).

Vários parâmetros têm sido utilizados para avaliar as respostas de crescimento de plantas à intensidade luminosa, dentre estes, a altura é um dos mais freqüentemente utilizados. A capacidade em crescer rapidamente em altura, quando sombreadas, é um mecanismo importante de adaptação das espécies, que procuram por uma taxa luminosa maior, Engel (1989).

Outro parâmetro bastante utilizado é o diâmetro do caule. O crescimento em diâmetro depende da atividade cambial, que por sua vez é estimulada a partir de carboidratos produzidos pela fotossíntese corrente e hormônios translocados das regiões apicais; logo o diâmetro de colo é um bom indicador da assimilação líquida, já que depende mais diretamente da fotossíntese corrente (Kozlowski, 1962, citado por Engel, 1989). A exemplo, mudas de cacau obtiveram diâmetros maiores a intensidades luminosas em 50% e 70% de sombra (Murray e Nichols, 1966, citados por Engel, 1989).

A produção de matéria seca também é um parâmetro importante para avaliar o crescimento de uma planta. A quantidade total de matéria seca fixada pela planta é um reflexo direto da produção fotossintética líquida somada à quantidade de nutrientes minerais absorvidos, o que corresponde a apenas uma pequena parcela daquela, (Bourdeau, 1958, citado por, Engel, 1989).

A área foliar também é um parâmetro de grande utilidade para se analisar a tolerância à sombra das diferentes espécies, pois ela se correlaciona diretamente com a área da superfície fotossintetizante útil. O aumento da área foliar com o sombreamento é uma das maneiras da plantas aumentar a superfície fotossintetizante rapidamente, assegurando um aproveitamento maior das baixas intensidade luminosas, Engel (1989), e compensando assim as taxas fotossintéticas por unidade de área mais baixas, que são características de folhas de sombra, Boardman (1977).

O maior crescimento da área foliar das mudas, verificado em 50% de sombreamento, está em consonância com outras espécies climax, que também utilizam desta estratégia morfofisiológica para aumentar a eficiência de aproveitamento das baixas intensidades luminosas que chegam ao interior da planta ou do ecossistema (Ferreira, 1977; Engel, 1989).

2.4 Aspectos Anatômicos

As folhas são os órgãos fotossintetizantes da planta, e justamente por isso, são bastante afetadas pela luminosidade e sua plasticidade característica tem sido objeto de muitos estudos. A maioria das espécies florestais possuem a faculdade de desenvolver diferentes estruturas anatômicas e morfológicas quando crescem em diferentes situações de luminosidade ambiental, Engel (1989).

Atroch et al. (1999) relataram em seu trabalho que o estímulo recebido pelas plantas incide sobre vários receptores de luz que são sensíveis a diferentes intensidades, qualidades espectrais e estado de polimerização. Desta forma, a modificação nos níveis de luminosidade em relação ao ambiente natural de uma espécie condicionam diferentes respostas fisiológicas, que irão refletir, entre outras coisas, nas características anatômicas das folhas.

A anatomia foliar das plantas é altamente especializada para absorção de luz: a camada epidérmica é usualmente transparente aos raios solares e normalmente essas células são convexas o que ajuda a focar a luz fazendo com que ela atinja os cloroplastos em uma quantidade muitas vezes maior do que a ambiente. Esse mecanismo é mais proeminente em plantas que se desenvolvem em condições de pouca luz, Taiz e Zeiger (1998).

Abaixo das células epidérmicas ficam as células do tecido paliçádico, que são células alongadas, com formato de pilares. Algumas plantas possuem mais de

uma camada dessas células sendo que seu formato pode variar também. A forma dessas células ajuda a canalizar a luz para o interior da folha. Sob a camada de células paliçádicas, estão as células, do tecido lacunoso, que são células de formato irregular onde estão presentes grandes espaços vazios. Esses muitos espaços e a interface ar-água refletem e refratam a luz casualizando seus movimentos. Esse fenômeno é chamado de “dispersão da luz” e é especialmente importante em folhas, pois aumenta o caminho da luz em até 4 vezes a espessura da folha, Taiz e Zeiger (1998).

As adaptações morfológicas são associadas a adaptações fisiológicas. Plantas de sombra podem alterar a proporção existente entre os fotossistemas. Normalmente, em plantas de sol, encontram-se 2 fotossistemas II e 1 fotossistema I; nas plantas de sombra, encontramos essa proporção em 3:1; isso se deve ao fato de que o fotossistema I absorve a luz na faixa do vermelho distante enquanto que o fotossistema II absorve a faixa de luz azul. Outras plantas apresentam mais clorofila nas antenas do fotossistema II, afim de aproveitar melhor a luz, Taiz e Zeiger (1998).

As folhas expostas a grandes intensidades de luz apresentam mecanismos de dissipação de luz e calor. Uma delas é a produção de xantofilas, outra é a perda de calor evaporativo e a perda de calor pelos ventos que chegam às folhas, Taiz e Zeiger (1998).

Quando as folhas são expostas a mais luz do que se pode utilizar, a fotossíntese é inibida, dependendo da quantidade incidida nos fotossistemas. Esses podem ser danificados, sendo que o grau de dano dos fotossistemas pode ser leve, revertendo instantaneamente; médio, podendo demorar de semanas a meses para a recuperação ou danos permanentes que podem chegar a morte sem recuperação dos mesmos, Taiz e Zeiger (1998).

Atroch et al. (1999) avaliaram 3 níveis de irradiância (100% ou pleno sol, 70% e 50%), sobre as características do mesofilo de *Bauhinia forficata* Link. (parênquima paliçádico e lacunoso), número total de células da epiderme adaxial e estômatos (número total, diâmetro polar e diâmetro equatorial na epiderme abaxial). As avaliações se deram nas regiões basais, apicais e medianas das folhas totalmente expandidas do terço superior da planta submetida a cada nível de irradiância. Através das observações das lâminas preparadas, encontraram-se os seguintes resultados: o mesofilo nos níveis de maior luminosidade (pleno sol e 70%) constitui-se predominantemente de tecido paliçádico, sendo as folhas desse tratamento, mais espessas e apresentando uma disposição desses cloroplastos paralela a luz incidente, enquanto que no nível de 50% de luz as folhas eram mais delgadas e os cloroplastos distribuídos perpendicularmente à luz do sol. O maior número de células da epiderme adaxial encontra-se nas regiões do ápice e meio das folhas, nos três níveis de luz. Não foram observadas diferenças quanto ao número total de estômatos, diâmetro polar e equatorial na epiderme abaxial.

2.5 Aspectos Fisiológicos

O cafeeiro é uma espécie originalmente de ambiente sombreado e atende bem a essas condições. Segundo Kumor e Tieszen (1980) e Fahl et al. (1994), o ponto de saturação de irradiância para essa espécie está entre 300 a 600 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Pontos de saturação de luz para plantas de sombra são substancialmente mais baixos, (Taiz e Zeiger, 1998). No entanto, radiações acima de 2200 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$, comuns em dias ensolarados nas regiões tropicais, podem induzir a fotoinibição. (Nunes, Ramalho e Dias, 1993). Essa fotoinibição da fotossíntese é causada por uma excitação de energia, que provoca danos no fotossistema II, sendo

caracterizada por uma variação na fluorescência da clorofila, que é resultado dessa maior dissipação de energia.

Segundo Kumor e Tieszen (1980), altas taxas fotossintéticas foram encontradas sobre baixa irradiância e com 1200 a 1300 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$ não se verificando danos ao aparelho fotossintético.

A fotossíntese é obtida de maneiras diferentes para cada espécie, pois a grande variabilidade de ambientes (desertos áridos, montanhas altas, florestas tropicais, etc...) faz com que as diferentes espécies se adaptem às condições, afim de aproveitarem ao máximo os recursos e atingir altas taxas fotossintéticas, (Salisbur e Ross, 1992).

São vários os fatores que afetam a fotossíntese: água, CO_2 , luz, nutrientes e temperatura, (Salisbur e Ross, 1992).

Uma adaptação da planta quanto ao excesso de luz é através da taxa de fotorrespiração. O aumento do fluxo de fótons acima do de compensação de luz resulta em aumento proporcional na taxa fotossintética. A fotossíntese é limitada pela luz, sendo que, fornecendo-se mais luz, aumenta-se a fotossíntese até chegar ao ponto de saturação, onde maiores aumentos de fótons não alteram mais a fotossíntese.

As adaptações de plantas de sombra para sol são pouco comuns. A maioria delas quando expostas a sol direto, tem sua fotossíntese inibida e morre. Uma adaptação dessas plantas é feita pelos pigmentos, na maior parte das vezes, através dos carotenóides que absorvem o excesso de luz e transferem para os cloroplastos. Outra adaptação se dá pela área foliar, que diminui com o aumento do nível de irradiância. Outras plantas mudam a posição das folhas tornando-as paralelas à incidência do sol, (Salisbur e Ross, 1992).

Quando se referem a plantas adaptadas à sombra, C_3 , como é o caso da Alocasia, por exemplo, observam-se algumas propriedades típicas dessas plantas,

isso se aplica em cerca de 95% dessas espécies sendo que apresentam taxas fotossintéticas muito baixas sob radiação solar direta do que outras espécies que vivem em áreas abertas. As respostas fotossintéticas são saturadas em baixas irradiâncias, (Salisbury e Ross, 1992).

Devido a fatores genéticos, algumas plantas são obrigatoriamente de luz e outras de sombra. Mas existem plantas facultativas para sombra ou sol, C_3 e certamente plantas C_4 , que são plantas que se adaptam mais a condições de sol pleno devido a mudanças em sua morfologia foliar e fotossíntese, tornando-se similares às plantas de sombra. Se o ponto de compensação de luz cai, elas fotossintetizam mais devagar e a fotossíntese é saturada a baixos níveis de radiação solar. Essa adaptação é gradual e torna seu crescimento lento, (Salisbury e Ross, 1992).

Carelli et al. (1999), estudando a discriminação isotópica do carbono e trocas gasosas em duas espécies de cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv Catuai vermelho e *Coffea canephora* Pierre cv. Apoatã) cultivadas em vasos, sob diferentes níveis de irradiância (Pleno Sol, 50% e 80% de sombreamento), observou uma taxa de assimilação de CO_2 maior em *Coffea arabica* do que em *Coffea canephora* nos tratamentos de 50% de sombreamento, sem ter havido diferença nos tratamentos 80% de sombreamento. As duas espécies mostraram respostas semelhantes aos regimes de sombreamento. A exposição a 80% de sombreamento reduziu em cerca de 50% a taxa máxima de assimilação do CO_2 em ambas as espécies. Para as duas espécies não houve diferença na assimilação de CO_2 entre as plantas de 50% e Pleno sol. A condutância estomática nas plantas de *Coffea arabica* aumentou com o nível de irradiância. Já para *Coffea canephora* não houve diferença na condutância estomática. Essas plantas apresentaram seus valores de área foliar, peso de matéria seca e número de pares de folhas máximos em plantas de *Coffea canephora* a 50% e pleno sol, seguidos de *Coffea canephora* 80% de

sombreamento, depois *Coffea arabica* 50% e pleno Sol, sem diferença significativa, e por fim *Coffea arabica* 80% de sombreamento.

Carvalho (1975) foi um dos primeiros autores a pesquisar a atividade da enzima redutase do nitrato em plantas de café. Ele observou que mudas formadas a pleno sol apresentavam deficiência de nitrogênio, sugeriu então a existência de uma associação direta entre a utilização de nitrogênio e formação de mudas. O autor, em seu experimento, utilizou duas fontes de adubo nitrogenado, uma amoniacal e outra nítrica em duas condições de luminosidade, à meia sombra e a pleno sol. Os resultados mostraram que, à meia sombra, diferiu significativamente de pleno sol e os tratamentos de nitrogênio não se diferiram entre si, mas a interação nível de luz e adubação foi significativa. As plantas à meia sombra desenvolveram-se mais em altura, área foliar, número de folhas e massa seca total do que a pleno sol. O autor termina concluindo que a redução do nitrato está envolvida no desenvolvimento deficiente das mudas a pleno sol que não aproveitaram eficientemente a disponibilidade de nitrogênio nas condições estudadas.

Ainda com relação à atividade da enzima redutase do nitrato, Cordeiro et al. (1984) encerraram sua pesquisa afirmando que o cacaueteiro e o cafeeiro jovens são as únicas plantas estudadas que apresentam atividade de redutase do nitrato foliar maior no escuro do que na luz. Posteriormente, outros autores chegaram a mesma conclusão (Carelli, Fahl e Guimarães 1990, Fahl et al., 1994).

Carelli, Fahl e Guimarães (1990), estudaram o efeito da luz e nitrogênio na atividade da redutase do nitrato e dos teores de nitrato e açúcares nas folhas de plantas jovens de cafeeiro, assim como, suas possíveis relações entre a disponibilidade desses compostos e a atividade enzimática. Os tratamentos foram constituídos de plantas suplementadas semanalmente ou não com nitrogênio e em duas condições de luz: pleno sol e 50% de luz solar. Os resultados obtidos mostram

que a atividade da redutase do nitrato, nos dois tratamentos de luz, foi maior nas plantas suplementadas com nitrogênio. Para um mesmo nível de nitrogênio, as plantas cultivadas a pleno sol tiveram menores atividades da redutase do nitrato, maiores teores de nitrato e de açúcares e maiores taxas de transpiração do que as mudas à sombra. Tais resultados indicam a menor atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de café a pleno sol, sendo que, aparentemente, não foi devida a limitações na disponibilidade de nitrato e de açúcares para fornecer a energia necessária para a redução de nitrato.

Freitas (2000), verificando o comportamento das cultivares de café (*Coffea arabica* L.) Acaia IAC- 474/19, Catuaí IAC-99, Icatu Amarelo IAC 3282 e Rubi MG - 1192, com relação às características de potencial hídrico, transpiração, temperatura da superfície foliar, condutância estomática, fotossíntese, concentração interna de carbono e eficiência do fotossistema II, quando submetidas a níveis de 30%, 50%, 70% e à pleno sol, observou que o potencial hídrico não variou nas plantas, mas as taxas fotossintéticas foram maiores a 70%, permanecendo com valores iguais nos níveis de 50% e 30% e decrescendo à pleno sol. A concentração interna de carbono variou, sendo as maiores taxas a pleno sol, seguidas de 30% e 70%, com menores valores em 50% de sombreamento. As maiores taxas de condutância estomática e transpiração ocorreram a 70% e as menores a pleno sol. A cultivar Rubi teve valores maiores de condutância, seguidas de Icatu, Catuaí e Acaia que tiveram valores iguais.

Santos e Kishi (1999), com o objetivo de estudar a influência dos diferentes tipos de sombreamento sobre características de crescimento e metabolismo em plantas jovens de Mogno (*Swietenia macrophylla* King), submeteu as mesmas à 4 sombreamentos: 0% ou pleno sol, 30%, 50% e 70%, observando altura, comprimento foliar, teor de clorofila "a" e "b" e total, chegando a conclusão que o crescimento foliar das plantas com 70% de sombreamento foi superior aos demais

níveis e o 0% teve seu menor valor. As plantas submetidas a 30% e 70% apresentaram maiores taxas de altura, enquanto que as crescidas em pleno sol, pouco cresceram. As plantas com 70% de sombreamento atingiram maiores conteúdos de clorofila nas folhas com predominância de clorofilas "a" e total por unidade de peso de matéria fresca, isso mostra que o mogno, apesar de ser considerado uma planta heliófila, aparenta ser tolerante à sombra nessa fase inicial de desenvolvimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Considerações Gerais

Foram conduzidos dois experimentos no período de setembro de 1999 a abril de 2001, no viveiro de mudas do setor de cafeicultura, Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, localizado na região sul no Estado de Minas Gerais. O local dos experimentos está a uma altitude média de 918 m dentro da latitude 21°14'S e longitude 45°00'W GRW. As médias anuais de temperatura do ar, máxima e mínima, são respectivamente de 26,1°C e 14,4°C, sendo que a temperatura média anual é de 19,4°C. A precipitação total anual é de 1529,7mm (segundo as normais climatológicas (Brasil, 1992)). O clima regional é do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb com duas estações distintas: seca, de abril a setembro e chuvosa, de outubro a março; segundo a classificação de Köppen.

Experimento 1: Produção de mudas de cafeeiro formadas em diferentes tipos de sombreamento.

O viveiro onde foi instalado o experimento, é do tipo cobertura alta e foi dividido em partes sendo que, em cada parte, foi colocado um tipo de cobertura, que são descritas a seguir: área sem sombrite (Pleno Sol), sombrite de 30%, sombrite de 50% e sombrite de 90%. Os canteiros formados foram dispostos no centro de cada área respectiva de modo a não serem influenciados por outros tipos de sombreamento em nenhuma hora do dia.

As mudas foram formadas em saquinhos de polietileno perfurados, de cor preta, com as dimensões usuais para café de 11 x 22 cm e depois de encanteirados foram semeados com duas sementes de café cultivar Rubi progênie MG – 1192. Após a germinação, apenas uma planta por saquinho foi deixada. As sementes foram cobertas com areia lavada de rio e sacos de aniação para manter a umidade durante a germinação.

O substrato utilizado foi o padrão para mudas de cafeeiro, constituído de 700 L de terra de subsolo peneirada, 300 L de esterco de curral curtido e peneirado, 5 Kg de super fosfato simples e 0,5 Kg de cloreto de potássio. Uma análise de solo foi feita para assegurar se os teores de nutrientes foram adequados para os dois experimentos. Estes são apresentados nas Tabelas 01 e 02.

O delineamento experimental utilizado foi o de Blocos Casualizados, sendo 4 o número de blocos por tratamento. Foram usadas 5 plantas úteis para as análises de crescimento, 4 para análises com o aparelho IRGA e 3 plantas para as análises anatômicas e de clorofila. Foram dispostas mais 20 plantas em volta de cada tratamento como bordadura, fazendo um total de 32 plantas por parcela.

Durante a condução do experimento 1, as regas foram feitas diariamente de forma manual sempre tentando manter a capacidade de campo do substrato para todos os tratamentos. Isso significou um aumento, às vezes, de até duas regas para o tratamento a pleno sol, que perdia água mais rapidamente.

Experimento 2: Avaliação no campo das mudas formadas em diferentes tipos de sombreamento.

Para a avaliação das mudas formadas em diferentes tipos de sombreamento no campo, foi instalado o experimento 2, já as mudas do experimento 1, destinadas a esse experimento, foram aclimatadas durante 30 dias e plantadas em vasos de 10 L de capacidade. O substrato usado, para enchimento dos vasos foi composto de

300 litros de esterco de curral /m³, como fonte de matéria orgânica e terra, pois, segundo Falco (1999), é o substrato mais indicado para implantação de lavouras cafeeiras. O experimento constou de 3 plantas úteis por tratamento em 6 repetições dispostas em um delineamento em blocos casualizados a partir dos tratamentos: Pleno Sol, 30%, 50% e 90% de sombreamento, sendo avaliadas quanto ao seu crescimento após 6 meses.

TABELA 01: Análise do substrato utilizado para o experimento 1 de mudas de cafeeiro formadas em diversos tipos de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Elemento	Unidade	Resultado	Interpretação
PH em Agua (1:2,5)	mg / dm ³	6,3	Acidez fraca
P (Mehlich I)	mg / dm ³	92,0	
K (Mehlich I)	.cmol/ dm ³	580,8	Alto
Ca	cmol/ dm ³	6,2	Alto
Mg	cmol/ dm ³	1,5	Alto
Al	cmol/ dm ³	0,0	Baixo
H + Al	cmol/ dm ³	1,9	Baixo
S.B.	cmol/ dm ³	9,2	Alto
t (CTC Efetiva)	cmol/ dm ³	9,2	Alto
T (CTC a pH 7,0)	cmol/ dm ³	11,1	Alto
m(saturação de Alumino)	%	0,0	Baixo
V (Saturação por base)	%	82,9	Alto
Ca/T	%	55,9	
Mg/T	%	13,5	
K/T	%	13,4	
Ca/Mg		4,1	
Ca/K		4,2	
Mg/K		1,0	
P (Resina)	mg / dm ³	261,1	
Matéria Orgânica	.dag /dm ³	3,1	Alto
Boro (Água Quente)	mg / dm ³	0,6	Médio
Zn (DTPA)	mg / dm ³	1,4	Alto
Cu (DTPA)	mg / dm ³	1,4	Alto
Mn (DTPA)	mg / dm ³	17,9	Alto
Fe (DTPA)	mg / dm ³	1,3	Baixo

Fonte: Laboratório de Análises do Solo / Departamento de Ciências do Solo - UFLA.

Durante a condução do experimento, as regas foram feitas diariamente de forma manual sempre tentando manter a capacidade de campo do substrato para todos os tratamentos. As adubações do experimento 2 seguiram as recomendações da CFSEMG – 1999 (5º aproximação).

TABELA 02: Análise do substrato utilizado para o experimento 2 de mudas de cafeeiro formadas em diversos tipos de sombreamento e plantadas em baldes. UFLA, Lavras – MG, 2000.

Elemento	Unidade	Resultado	Interpretação
PH em Agua (1:2,5)	mg / dm ³	5,7	Acidez Média
P (Mehlich I)	mg / dm ³	96,0	
K (Mehlich I)	.cmol/ dm ³	615,0	Alto
Ca	cmol/ dm ³	6,2	Alto
Mg	cmol/ dm ³	2,0	Alto
Al	cmol/ dm ³	0	Baixo
H + Al	cmol/ dm ³	1,9	Baixo
S.B.	cmol/ dm ³	9,8	Alto
t (CTC Efetiva)	cmol/ dm ³	9,8	Alto
T (CTC a pH 7,0)	cmol/ dm ³	11,7	Alto
m(saturação de Alumínio)	%	0	Baixo
V (Saturação por base)	%	8,37	Alto
Ca/T	%	53,1	
Mg/T	%	17,1	
K/T	%	13,5	
Ca/Mg		3,1	
Ca/K		3,9	
Mg/K		1,3	
P (Resina)	mg / dm ³	2,6	Médio
Matéria Orgânica	dag /dm ³	265,5	Alto
Boro (Água Quente)	mg / dm ³	0,8	Alto
Zn (DTPA)	mg / dm ³	0,8	Médio
Cu (DTPA)	mg / dm ³	0,9	Alto
Mn (DTPA)	mg / dm ³	11,0	Alto
Fe (DTPA)	mg / dm ³	24,0	Alto

Fonte: Laboratório de Análises do Solo / Departamento de Ciências do Solo - UFLA.

3.2 Avaliações quanto ao crescimento

Para se avaliar o crescimento das plantas as características adotadas foram:

- **Altura das Plantas:** medida de colo das plantas até a gema apical, em centímetros.

- **Diâmetro do caule:** medida no colo da planta através de um paquímetro, em milímetros.

- **Área foliar:** medida em centímetros quadrados, estipulada pela fórmula:

$$AF = \{[(\text{comprimento} \times \text{largura}) \times 0,667] \times 2\}$$

- **Massa da matéria seca da raiz e parte aérea:** após lavagem, com cuidado das raízes, retirando toda a terra, seccionava-se o caule na altura do colo, lavando-se a parte aérea e ensacando em sacos de papel devidamente etiquetados com os números dos tratamentos e posteriormente, secando-se em estufa de ar circulado a 60°C até peso constante. Pesava-se o material ainda quente (evitando assim acréscimo em umidade) em balança de precisão, medida dada em gramas.

- **Número de pares de folhas:** contagem direta do número de pares de folhas, não analisado no experimento 2.

- **Número de Ramos Plagiotrópicos:** contagem direta do número de ramos plagiotrópicos emitidos pelas plantas, analisado somente no experimento 2.

- **Taxa de Crescimento Relativo:** estabelecido através da fórmula:

$$TCR = (\ln P_2 - \ln P_1) / t_2 - t_1$$

Sendo: P_2 e P_1 peso final e inicial respectivamente; t_2 e t_1 tempos final e inicial.

Essa variável foi aplicada para os pesos de matéria seca de parte aérea e raiz das mudas por ocasião do plantio e após os 180 dias (6 meses), posterior ao plantio nos baldes, estipulados para o experimento 2.

3.3 Avaliações fisiológicas

As avaliações de radiação fotossinteticamente ativa, temperatura foliar, condutância estomática, fotossíntese líquida, transpiração e concentração interna de carbono foram feitas em 4 repetições por tratamento através do aparelho IRGA-LCA4. Essas avaliações foram feitas obedecendo a mesma orientação cardinal no período de 10:00 horas da manhã às 12:00hs.

3.4 Avaliações Anatômicas

Para o estudo anatômico das folhas, foram avaliadas as seguintes características: número de estômatos, diâmetro equatorial dos estômatos, diâmetro polar dos estômatos, espessura da folha, espessura do tecido paliçádico da folha, espessura da epiderme da folha e espessura do tecido lacunoso. Para isso foram tiradas 10 folhas de cada tratamento totalmente maduras (expandidas) e tomadas ao acaso, que foram fixadas em formaldeído, ácido acético e álcool etílico (F.A.A.) 70% e conservadas em álcool etílico 70°GL conforme metodologia de Johansen (1940).

Para as avaliações do número médio de estômatos por mm^2 de folha, diâmetro polar e equatorial dos estomatos, cortes paradérmicos manuais, com lâmina de barbear, foram realizados nas partes superior e inferior das folhas num total de 10 folhas por tratamento, repetindo 4 cortes por folha. Esses cortes foram realizados nas regiões basais medianas e apicais da folha e colocados em lâminas com safranina, sendo observados com auxílio de um microscópio, segundo técnica de Labouriau, Oliveira e Salgado- Labouriau (1961).

Para o preparo das lâminas permanentes dos cortes transversais, utilizou-se a técnica de inclusão de parafina após desidratação em série alcóolica etílica,



segundo Johansen (1940) e Sass (1951), formando os blocos de parafina com os pedaços de folha. Esses blocos foram cortados transversalmente com auxílio de um micrótomo rotatório e submetido ao processo de dupla coloração com safranina-azul de astra na proporção de 7:3, segundo Bukatsh (1972). As lâminas permanentes foram então fotografadas com microscópio de câmara clara, tipo Olympus CBB, próprio para as fotos e as medidas tomadas por uma lâmina micrométrica preparada para o mesmo aumento usado nas lâminas permanentes, em 5 repetições por tratamento.

3.5 Avaliações de Clorofila

A estimativa da clorofila seguiu o método de Armon (1949).

Foram coletadas 10 folhas de cada tratamento, destas foram retiradas 4 repetições de 0,250g cada, que foram maceradas em almofariz juntamente com 10 ml de acetona 80% em ambiente de luz negra devido à grande oxidação que sofre a folha do cafeeiro. Esse volume foi filtrado em lã de vidro e completado para 50 ml para leitura em absorvância a 663 nm para clorofila "a" e 645 nm para clorofila "b". Os cálculos de mg de clorofila/g de matéria fresca seguiram as equações 1 e 2:

$$(1) - \text{Clorofila "a"} = (12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645})$$

$$(2) - \text{Clorofila "b"} = (22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663})$$

3.6 Análise dos dados

As variáveis foram separadas em 04 grupos a saber: (a) medidas de crescimento; (b) características estomáticas; (c) medidas de clorofila e (d) medidas fisiológicas (dados do IRGA).

No caso de (a) medidas de crescimento, dois subgrupos foram evidenciados: o primeiro, constituído de medidas primárias, como altura (cm), diâmetro do caule (mm), número de pares de folhas (unid.), área foliar (cm²) e massa das porções aérea e radicular (g), bem como o peso total da planta (g); a partir destas medidas, foram obtidas as variáveis percentagem de parte aérea (%) e percentagem de raiz (%).

Para as medidas anatômicas (b), foram observados: n° de estômatos (unid.), diâmetro polar dos estômatos (µm), diâmetro equatorial dos estômatos (µm), espessura foliar (µm), e a partir destas variáveis, foi determinada a percentagem da epiderme foliar (%), a percentagem do tecido paliçádico (%) e a percentagem do tecido lacunoso (%).

Para as análises de clorofila (c), foram analisadas as quantidades de clorofila "b" (mg.ml⁻¹), clorofila "a" (mg.ml⁻¹) e clorofila total somando as clorofilas "a" e "b" (mg.ml⁻¹). A partir destas determinações, foi avaliada a percentagem de clorofila "a" dentro do total (%), percentagem de clorofila "b" dentro do total (%) e relação clorofila "b" / "a".

Das análises feitas pelo aparelho IRGA (d) foram observados: radiação fotossinteticamente ativa (µmolquanta.m⁻².s⁻¹), transpiração (mmol.m⁻².s⁻¹), temperatura foliar (C°), condutância estomática (molCO₂.m⁻².s⁻¹), fotossíntese líquida (µmol.m⁻².s⁻¹), e concentração de CO₂ na câmara subestomática (vpm).

Todos os dados foram analisados através do teste de Tukey para comparações múltiplas afim de diferenciar qualitativamente os dados, determinando assim quais foram os melhores tratamentos. Já para aqueles dados pertinentes foi feita a análise de regressão afim de ilustrar a tendência do efeito dos tratamentos em todo experimento.

Para o experimento 2, apenas as análises de crescimento foram feitas, observando-se: altura (cm), diâmetro do caule (mm), número de ramos

plagiotrópicos (unid.), massa das porções aérea e radicular (g). Para este experimento, como no anterior, os dados também foram analisados pelo teste de Tukey e por regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Produção de mudas de cafeeiro formadas em diferentes tipos de sombreamento.

4.1.1 Medidas de Crescimento

Todas as medidas apresentaram-se como altamente influenciadas ($p < 0,01$) pelo nível de sombreamento, à exceção das razões de biomassa da porção aérea e radicular e biomassa total da planta (Tabela, 3). De um modo geral, a variação dada pela razão de somas de quadrados, obtida pelo modelo adotado, situou-se entre 55% e 87% de explicação da variação total (Tabela, 3).

TABELA 03: Quadro de análise de variância para o efeito do sombreamento sobre as medidas Crescimento. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Variáveis	G.L.	QM		F	P
		Efeito	Erro		
[ALT]	(3;12)	14,315	0,527	27,170	**
[DIAM]	(3;12)	0,105	0,014	7,624	**
[NPAR]	(3;12)	0,310	0,062	5,027	**
[PSPA]	(3;12)	0,090	0,015	5,846	**
[PSR]	(3;12)	0,003	0,001	4,990	**
[PTOT]	(3;12)	0,129	0,022	5,919	**
[%PSPA]	(3;12)	0,000	0,000	0,563	n.s.
[%PSR]	(3;12)	0,000	0,000	0,563	n.s.
[AF]	(3;12)	3417,412	132,220	25,846	**

Onde: n.s. - não significativo ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$).

A ausência de efeito dos níveis de sombreamento nas razões de biomassa das porções aérea e radicular (Tabela, 3) ressalta a estabilidade da espécie no que se refere à alocação energética durante o seu desenvolvimento. Assim podemos dizer que, independente da luminosidade, a planta de cafeeiro faz sua alocação de energia e produção de biomassa de forma igual.

Tais tendências apresentadas nos mostram um comportamento característico de plantas de hábito umbrófilo. Podemos dizer com isso que valores de sombreamento acima do médio (50%) são indicados.

A altura das plantas apresentou maiores valores no sombreamento médio (50%), com o mesmo padrão indicado para área foliar (Tabela, 4 e Figura 1). Já o diâmetro do caule, apresentou maiores valores no sombreamento máximo (90%), seguido do restante dos níveis de sombreamento (Tabela, 4).

O modelo ajustado reafirmou uma tendência crescente em função do aumento do nível de sombreamento a partir de valores acima do sombreamento médio (Figura 2). A distinção entre os valores médios do nível máximo de sombreamento e o restante dos níveis foi da ordem de 15% (Tabela, 4).

O número de pares de folhas e, conseqüentemente a área foliar indicaram o sombreamento médio (50%) como o de maior valor médio, seguido dos menores sombreamentos (30%) e maiores sombreamentos (90%) e com menor valor médio a ausência de sombreamento (0%) (Tabela, 4). Esse resultado era esperado visto que se observa na maioria das espécies uma diminuição da área foliar com o aumento da irradiação solar como forma de adaptação da planta a essa condição de maior irradiação.

O modelo também indicou um efeito quadrático, tendo como ponto de máxima o nível médio de sombreamento (50%) (Figura 2).

TABELA 04: Valores médios de altura [ALT] e diâmetro da planta [DIAM], n° de pares de folhas [NPAR], peso da porção aérea [PSPA], da porção radicular [PSR] e total da planta [PTOT], porção aérea (%) [%PSPA], porção radicular (%) [%PSR] e área foliar [AF] em função dos tratamentos de radiação solar ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.

Sombream.	[ALT]	[DIAM]	[NPAR]	[AF]	[PTOT]
0%	5,78 cd	2,28 b	3,45 bc	58,48 d	0,56 d
30%	7,36 bc	2,32 b	3,60 bc	91,26 bc	0,79 bc
50%	10,26 a	2,30 b	3,75 a	129,81 a	0,73 bc
90%	7,06 bcd	2,62 a	3,10 b	88,89 bc	1,00 a
Media Geral	7,62	2,38	3,48	92,11	0,77
CV %	9,03	5,33	6,57	12,67	15,43

Sombream.	[PSPA]	[PSR]	[%PSPA]	[%PSR]
0%	0,48 d	0,08 d	0,85 a	0,15 a
30%	0,66 bc	0,13 bc	0,84 a	0,16 a
50%	0,62 bc	0,11 bc	0,84 a	0,16 a
90%	0,84 a	0,15 a	0,85 a	0,15 a
Media Geral	0,65	0,12	0,84	0,16
CV %	18,07	22,41	5,67	4,38

Onde: Valores precedidos de mesma letra, não diferem no nível de 5%, pelo teste de Tukey.

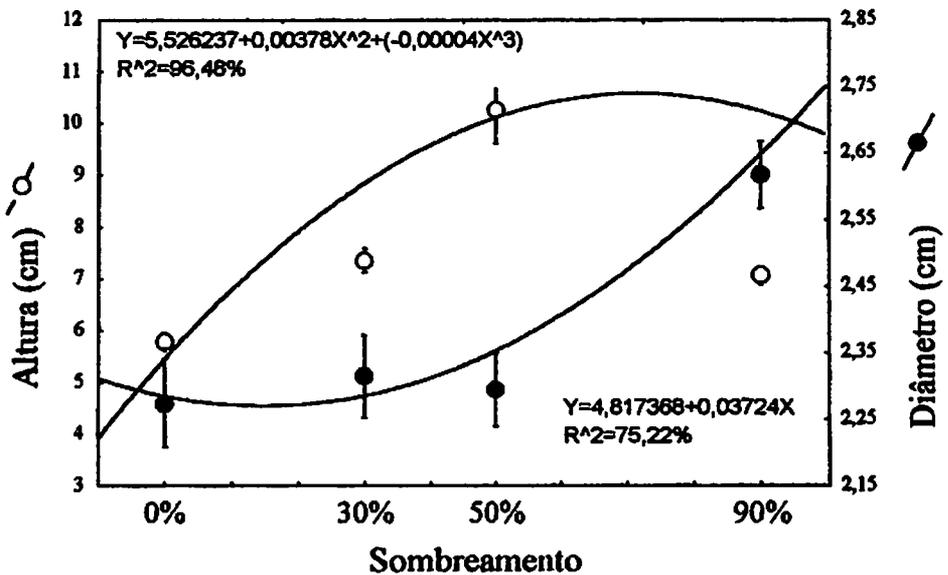


FIGURA 01: Valores médios e intervalos de confiança de 95% e ajustes obtidos para altura e diâmetro da planta. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Já a biomassa das plantas, massa seca total, em qualquer uma das porções avaliadas massa seca de parte aérea e massa seca de raiz, apresentou maiores valores no maior nível de sombreamento (90%), seguidos dos valores médios (50%; 30%), apresentando-se como intermediários, e finalmente os valores a pleno sol (0%) (Tabela 4, Figura 3). Possivelmente, esse resultado demonstra que a planta de cafeeiro faz uma maior alocação de reservas neste tipo de sombreamento, ou seja, essa condição propicia a planta a converter seus fotoassimilados em reservas para planta, explicando seu maior acúmulo em massa seca e diâmetro de caule, mas, com detrimento no desenvolvimento em altura e emissão de pares de folha. Distinções entre os valores de máximo (90%) e mínimo (0%) sombreamento situaram-se acima de 75% (Tabela 4).

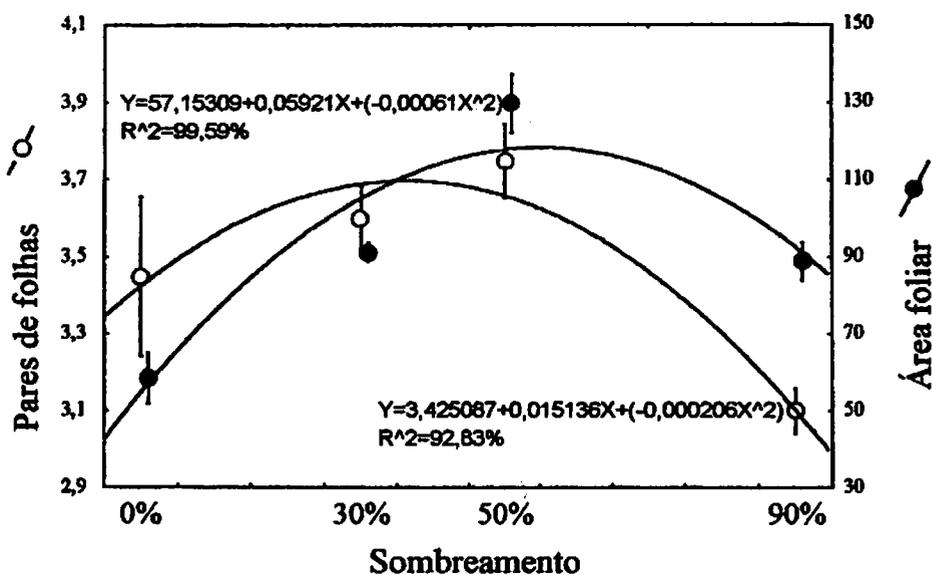


FIGURA 02: Valores médios e intervalos de confiança de 95% e ajustes obtidos para número de pares de folhas e área foliar. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Observou-se, com esses resultados, que a condição de luminosidade de 50% de sombreamento favoreceu desenvolvimento das mudas de cafeeiro visto que nelas foram encontrados valores maiores de altura, número de pares de folha e área foliar. Somente quanto ao diâmetro, isso não foi observado, possivelmente, pelo fato dessas plantas apresentarem uma massa seca de raiz, parte aérea e total maior, que está relacionado provavelmente a um maior acúmulo de biomassa (reserva) e água. Tal acúmulo, na condição de 50% de luminosidade, pode ter sido alocado para as partes em desenvolvimento da planta e transformados em uma maior altura, número de pares de folhas e área foliar.

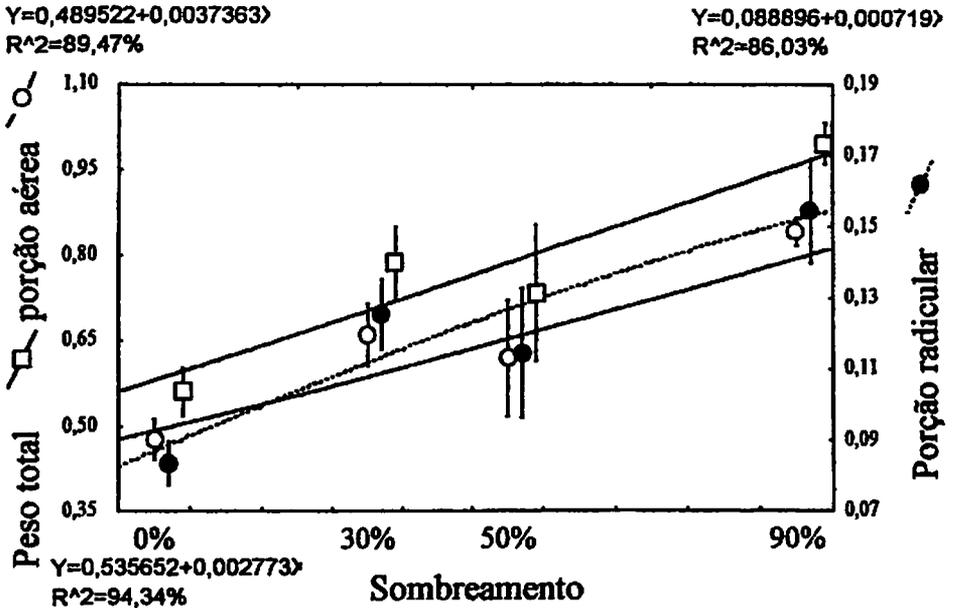


FIGURA 03: Valores médios e intervalos de confiança de 95% e ajustes obtidos para biomassa total da planta e das porções aérea e radicular. UFLA, Lavras – MG, 2001.

A figura 4 abaixo ilustra o desenvolvimento das mudas de cafeeiro, formadas nos diferentes tipos de sombreamento, após a conclusão do experimento por ocasião da tomada dos dados para as análises. As mudas foram tiradas ao acaso dos respectivos tratamentos, limpas e fotografadas logo em seguida.

Podemos notar que as mudas formadas a 50% de sombreamento tiveram um desenvolvimento maior que as demais, tanto em parte aérea, quanto em raiz, conforme foi observado nos dados apresentados.



FIGURA 04: Mudanças de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) aos 6 meses após plantio, cultivadas respectivamente a pleno sol, sombrite de 30% de sombreamento, 50% e 90%. A régua corresponde a 15 cm. UFLA, Lavras – MG, 2001.

4.1.2 - Determinação de Clorofila

Todas as medidas de clorofila avaliadas foram altamente influenciadas pelo nível de sombreamento (Tabela 5). A variação explicada pelo modelo adotado, dada pela razão de soma de quadrados, situou-se entre 57% e 92% (Tabela 5).

fitossintese (Boardman, 1977).

clorofila os responsáveis diretos pela absorção da luz para o processo de importância no acúmulo de matéria seca da planta visto que são os pigmentos de uma forma geral aumentou os teores de clorofila "a", "b" e total. Isso tem grande (apresentados na Tabela 6 e Figura 5,6) podemos observar que o sombreamento de Através dos resultados relativos à quantificação das clorofilas (Figura 5,6).

sombreamento e redução com o aumento do nível de sombreamento (Tabela 6 e exceção da clorofila "a" que apresentou maiores valores na ausência de A resposta foi concordante também no caso das proporções de clorofilas, a encontrada em todos os níveis de sombreamento acima de 0% (Tabela 6). Uma maior concentração de clorofila total, "b"/"a", "a" e "b" foi

Onde: ** - significativo ($p < 0,01$).

Variáveis	G.L.	Efeito	QM		p
			Erro	F	
[CLFA]	(3;12)	0,00001	0,00000002	5,380	**
[CLFB]	(3;12)	0,00027	0,00001	49,512	**
[CLFB/A]	(3;12)	0,17334	0,004734	36,617	**
[CLFT]	(3;12)	0,00038	0,00001	30,234	**
[%CLFA]	(3;12)	0,02292	0,00128	17,889	**
[%CLFB]	(3;12)	0,02657	0,00077	34,507	**

TABELA 05: Quadro de análise de variância para o efeito do sombreamento sobre as medidas de clorofila. UFLA, Lavras - MG, 2001.

TABELA 06: Valores médios de clorofila total [CLFT], “a” [CLFA] e “b” [CLFB] e proporção das clorofilas “a” [%CLFA] e “b” [%CLFB] em função dos tratamentos de radiação solar ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.

Sombreamento	[CLFB]		[CLFA]		[CLFB/A]	
0%	0,014	b	0,028	b	0,49	b
30%	0,030	a	0,032	a	0,93	a
50%	0,030	a	0,032	a	0,95	a
90%	0,031	a	0,031	a	1,00	a
Media Geral	0,026		0,031		0,74	
CV %	24,25		9,51		9,21	

Sombreamento	[CLFT]		[%CLFA]		[%CLFB]	
0%	0,043	b	0,658	a	0,327	b
30%	0,061	a	0,532	b	0,496	a
50%	0,063	a	0,500	b	0,476	a
90%	0,063	a	0,498	b	0,495	a
Media Geral	0,058		0,547		0,448	
CV %	15,64		8,63		7,56	

Onde: Valores precedidos de mesma letra, não diferem no nível de 5%, pelo teste de Tukey

Com relação à proporção de clorofila “a” e “b” relacionada com a total, demonstradas pelas variáveis [%CLFA] e [%CLFB], observou-se uma tendência de que nas plantas sombreadas existe uma maior concentração de clorofila “b”, pois tais pigmentos absorvem um espectro de luz mais abundante nesta situação, Devlin e Witham (1983).

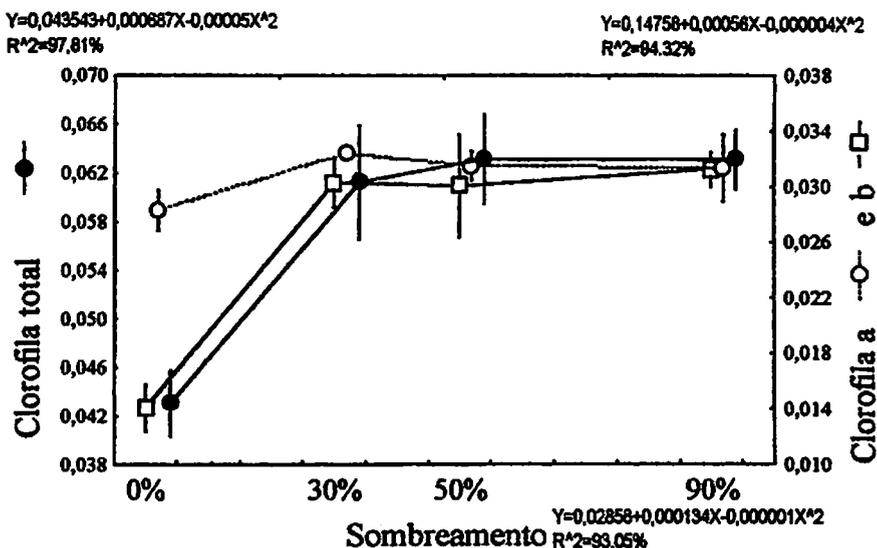


FIGURA 05: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de clorofila total, clorofila “a” e clorofila “b” em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.

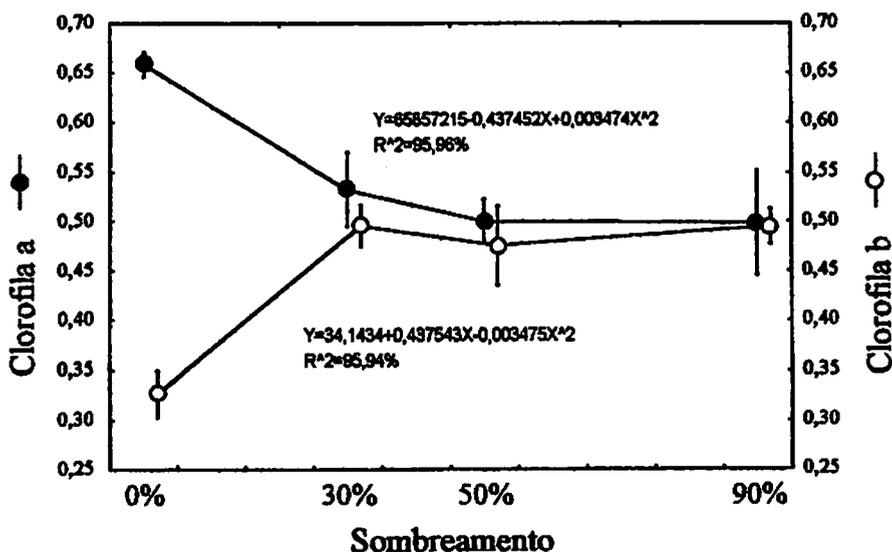


FIGURA 06: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de proporção das clorofilas “a” e “b” em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.

4.1.3 Análises Anatômicas

Ao ser analisadas as contagens e medições de estômatos, observou-se somente efeito sobre o número de estômatos (Tabela 7).

TABELA 07: Quadro de análise de variância para o efeito do sombreamento sobre as medidas anatômicas. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Variáveis	G.L.	QM			
		Efeito	Erro	F	p
[NE]	(3;36)	3216,0609	310,900	10,344	**
[DPOL]	(3;36)	1,648	5,170	0,319	n.s.
[DEQT]	(3;36)	2,156	1,923	1,121	n.s.

Onde: n.s. - não significativo ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$).

Para a variável número de estômatos, pode-se observar que os maiores valores se deram nos tratamentos pleno sol, 30% e 50%, não se diferenciando entre eles mas se diferenciando de 90%. Tal resultado se deve à maior necessidade da planta de realizar mais transpiração à medida em que se aumenta a quantidade de radiação solar, Tabela 8 e Figura 7.

Quanto às medidas de diâmetro polar e equatorial, elas não se diferiram, mostrando que, de um modo geral, o comprimento e a largura dos estômatos não foram significativamente alterados pela variação nos níveis de irradiância, (Tabela 8).

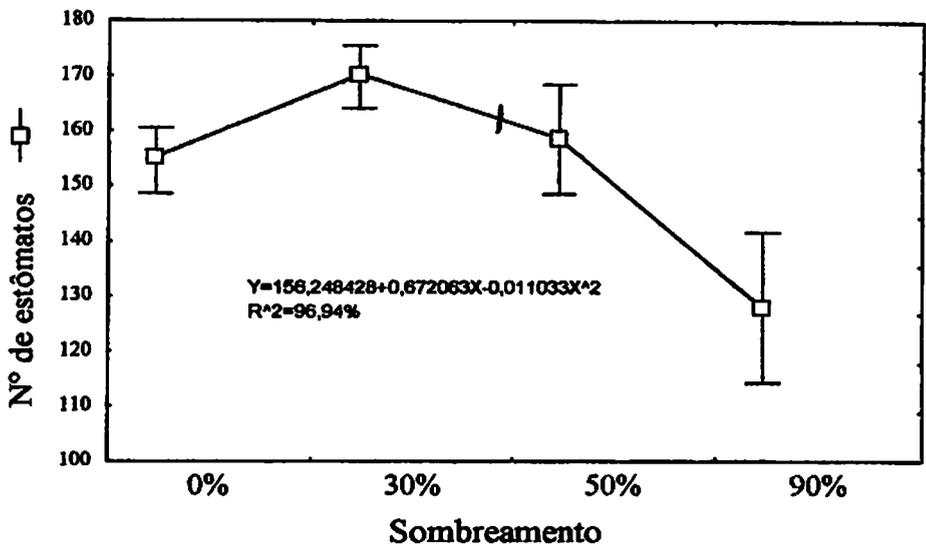


FIGURA 07: Valores médios e intervalo de confiança de 95% para o valor número de estômatos em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.

TABELA 08: Valores médios de número de estômatos [NE], diâmetro polar [DPOL] e equatorial [DEQT] ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=005$). UFLA, Lavras – MG, 2001.

Sombreamento	[NE]	[DPOL]	[DEQT]
0%	155,23 a	28,41 a	17,38 a
30%	170,41 a	27,80 a	18,05 a
50%	158,73 a	28,60 a	18,23 a
90%	128,02 b	28,72 a	17,32 a
Media Geral	153,09	28,38	17,74
CV %	11,52	7,00	7,05

Onde: Valores precedidos de mesma letra não diferem no nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Nos estudos da epiderme, não foi observada a presença de estômatos na face adaxial (superior) Figura 8, sendo normal em muitas espécies. Os estômatos foram encontrados somente na face abaxial (inferior) da folha, Figura 9.

Foram observadas diferenças significativas entre as espessuras foliares, cujos maiores valores se deram a 30% e 50%, não se diferindo entre eles e se diferindo entre 90% e este de 0%. Tal resposta da folha a pleno sol pode ser explicada, segundo Taiz e Zeiger (1998), há uma adaptação da folha que diminui sua espessura para facilitar a passagem da luz pela mesma e também pela sua menor área foliar.

A secção transversal da lâmina foliar mostrou a camada de células epidérmicas. Estas células ocuparam uma média de 10,85 % da espessura da folha, mas não apresentaram diferença significativa entre elas, Tabela 9 e Figuras 10, 11, 12, 13.

As células em paliçada apresentaram-se bem organizadas em todos os níveis de irradiância observados, sendo constituídas de apenas uma camada das mesmas. Essas células são mais alongadas que as outras e dispostas na direção perpendicular à superfície foliar. Existe a presença de vários cloroplastídeos nessas células, que se dispõem ao longo de sua parede, no interior das mesmas. Tal disposição é considerada também como um mecanismo de regulação fotossintética prevenindo danos quando o nível de irradiância é elevado. Tal mecanismo funciona da seguinte forma: quando o nível de irradiância é baixo, existe uma disposição paralela à epiderme na parte superior das células paliçádicas interceptando toda luz que chegar à célula. Em níveis mais altos de irradiância, essas células se dispõem na parede das células paliçádicas, formando um tubo oco, onde o feixe luz acaba passando e apenas parte dele chega ao cloroplastídeo. Não houve diferença significativa quanto ao tamanho dessas células nos tratamentos, Tabela 9.

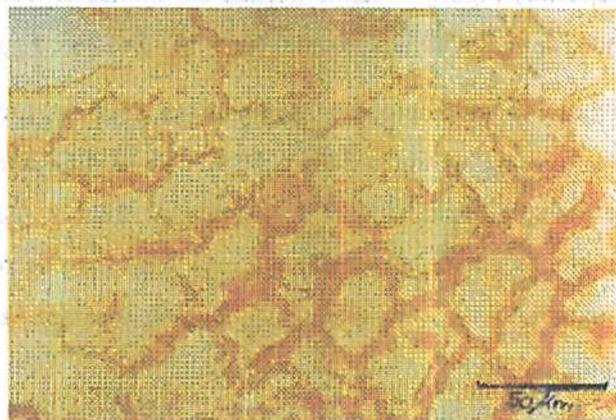


FIGURA 08: Células da epiderme adaxial de folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). A barra corresponde a 50 μ m. UFLA, Lavras – MG, 2001.

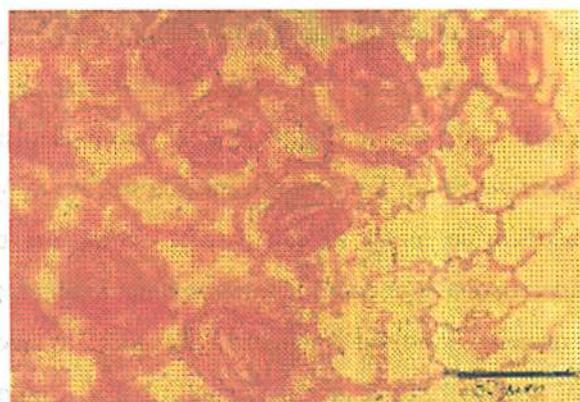


FIGURA 09: Células da epiderme abaxial de folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). A barra corresponde a 50 μ m. UFLA, Lavras – MG, 2001.

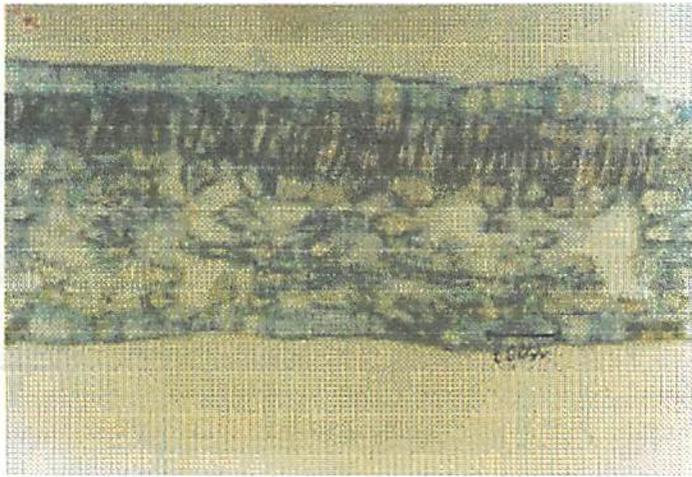


FIGURA 10 Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a pleno sol. A barra corresponde a 50 μ m. UFLA, Lavras – MG, 2001.

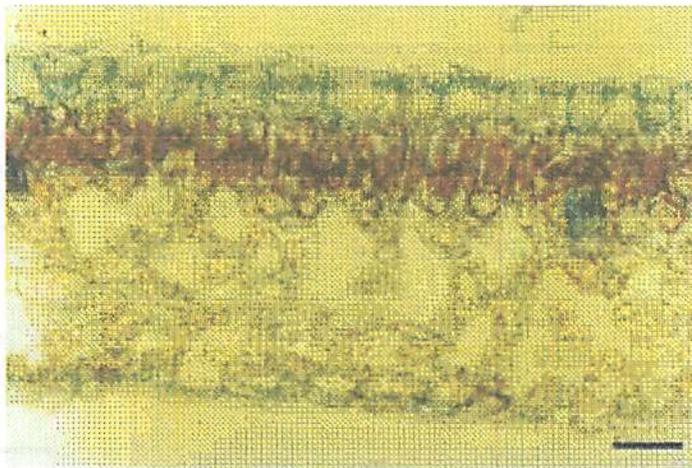


FIGURA 11: Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob o nível de 30% de irradiância. A barra corresponde a 50 μ m. UFLA, Lavras – MG, 2001.

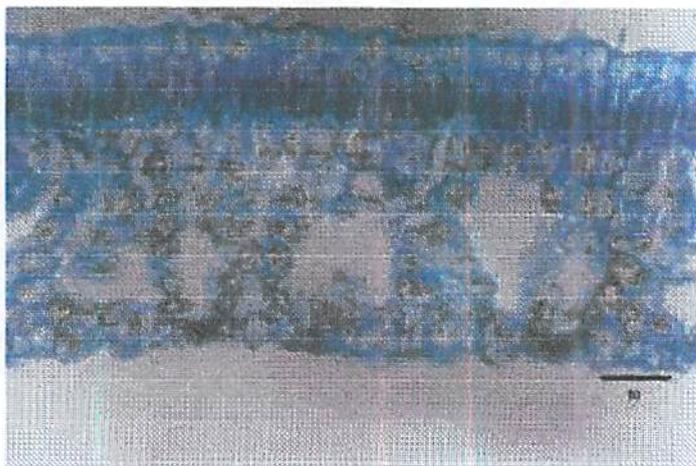


FIGURA 12: Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob o nível de 50% de irradiância. A barra corresponde a 50 μ m. UFLA, Lavras – MG, 2001.

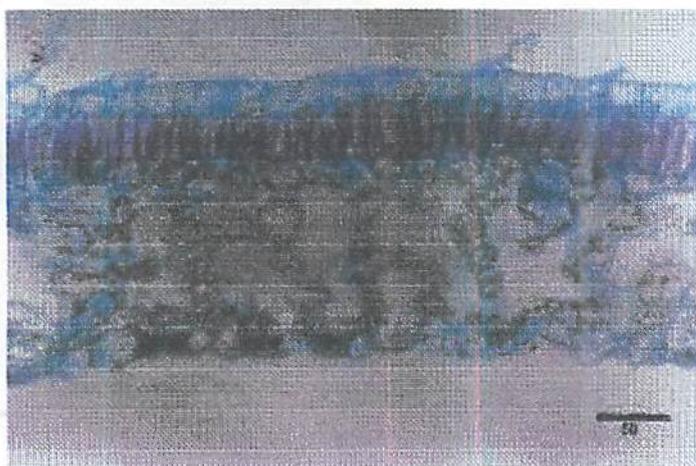


FIGURA 13: Secção transversal do mesófilo foliar de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob o nível de 90% de irradiância. A barra corresponde a 50 μ m. UFLA, Lavras – MG, 2001.

TABELA 09: Quadro de análise de variância e respectivos níveis de significância para as variáveis: espessura da folha [ESP] porcentagem de tecido paliçádico na folha [%TP], porcentagem de espessura da camada epidérmica [%EP] e porcentagem de tecido lacunoso [%TL] de mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Variáveis	QM				
	G.L.	Efeito	Erro	F	p
[ESP]	(3;12)	2394,58	20,625	116,10	**
[%EP]	(3;12)	5,93	2,26	2,617	n.s.
[%TP]	(3;12)	20,37	5,9	3,45	n.s.
[%TL]	(3;12)	52,45	6,74	7,78	**

Onde: n.s. - não significativo ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$).

A camada do tecido lacunoso, logo abaixo do tecido paliçádico, é a camada onde mais alterações visuais foram encontradas. À medida em que se aumenta o sombreamento, foi verificado um aumento também de espaços entre as células, tais espaços facilitam a absorção da luz, pois como já foi dito, eles casualizam a direção da luz melhorando sua chegada até os cloroplastídeos. O maior valor de tecido lacunoso se deu a 90% de sombreamento, onde se observou maiores espaços entre as células, seguido de 0% e 50%, que não se diferiram entre eles e por último 30% que se diferiu dos demais.

A figura 14 ilustra as alterações observadas nos diferentes tecidos dos cortes transversais das folhas de cafeeiro em todos os sombreamentos observados.

TABELA 10: Valores médios de número de espessura de epiderme [ESP], % de tecido epidérmico [%EP], % de tecido paliçádico [%TP] e % de tecido lacunoso[%TL] ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,01$). UFLA, Lavras – MG, 2001.

Sombreamento	[ESP]		[%EP]		[%TP]		[%TL]	
0%	193,00	c	10,34	a	23,83	a	65,29	ab
30%	240,00	a	12,10	a	20,04	a	60,89	b
50%	238,00	a	11,33	a	19,32	a	61,77	ab
90%	218,00	b	9,63	a	20,23	a	67,09	a
Media Geral	222,25		10,85		20,86		63,96	
CV %	2,04		13,88		11,65		4,06	

Onde: Valores precedidos de mesma letra, não diferem no nível de 1%, pelo teste de Tukey.

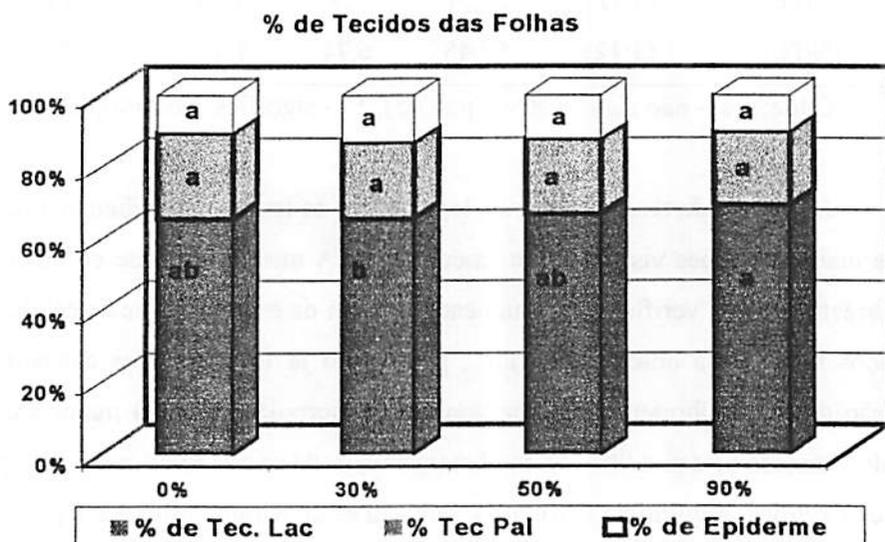


FIGURA 14: Valores médios e intervalo de confiança de 95% para os valores % de epiderme, % tecido paliçádico e % de mesofilo foliar em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.

A figura 15 ilustra a diferença entre as espessuras dos diferentes cortes transversais das folhas de café submetidas aos diferentes tipos de sombreamento.

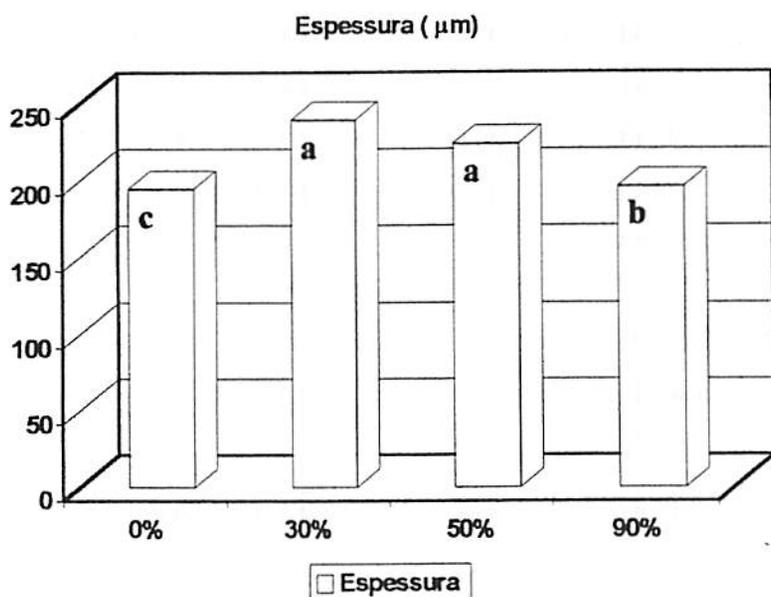
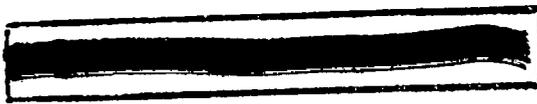


FIGURA 15: Espessura Foliar (μm) em função dos níveis de sombreamento. UFLA, Lavras – MG, 2001.

A figura 8 (epiderme adaxial) ilustrada abaixo mostra a ausência de estômatos nesta face da folha, já a figura 9 (epiderme abaxial) mostra a presença dos estômatos na folha de café.

As figuras 10 (pleno sol), 11 (30% de sombreamento), 12 (50% de sombreamento) e 13 (90% de sombreamento) são ilustradas a seguir onde pode-se observar as diferenças apresentadas pelas análises citadas anteriormente.



4.1.4 Análises Fisiológicas

Tomando se como base os dados de radiação fotossinteticamente ativa e considerando o valor a pleno sol como sendo 100% de radiação, pode-se aferir os sombrites utilizados e constatar qual a real incidência de luminosidade em μmol quanta $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ que cada um apresenta para as condições daquele dia. Seguem os dados na Tabela 11. Pode-se observar que eles se aproximam bastante dos valores fornecidos pelos fabricantes.

TABELA 11 : Valores de radiação de luz μmol quanta $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ apresentados por ocasião da tomada dos dados através do aparelho IRGA. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Sombreamento	Radiação observada (media)	Porcentagem real de sombreamento
0%	1689,13	100%
30%	1085,88	35,71%
50%	802,13	52,51%
90%	321,50	80,96%

Onde: Valores observados no dia da avaliação.

Para as variáveis analisadas através do aparelho IRGA somente a variável concentração de CO_2 na câmara sub-estomática da folha não foi significativa, ou seja, independente da temperatura ou do sombreamento, que influenciam na quantidade de CO_2 , este chega até os estômatos da folha. As demais variáveis tiveram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 12).

TABELA 12 : Quadro de análise de variância e respectivos níveis de significância para as variáveis: radiação fotossinteticamente ativa [RFA], transpiração [TRANS], temperatura [TEMP] condutância estomática [CNDEST], fotossíntese líquida [FOTLQ] e concentração de CO₂ [CCO2] de mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras – MG, 2001.

QM					
Variáveis	G.L.	Efeito	Erro	F	P
[RFA]	(3;12)	1305620,432	2700,214	483,525	**
[TRANS]	(3;12)	1,629	0,157	10,396	**
[TEMP]	(3;12)	6,538	0,421	15,528	**
[CNDEST]	(3;12)	0,368	0,002	169,457	**
[FOTLQ]	(3;12)	2,581	0,261	9,899	**
[CCO2]	(3;12)	476,727	278,905	1,709	n.s.

Onde: n.s. - não significativo ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$).

A radiação fotossinteticamente ativa analisada foi diferente estatisticamente a 5% de probabilidade (Tabela 13) em todos os tratamentos, sendo esta maior a pleno sol e menor à medida em que se aumenta o sombreamento (Figura 16).

A temperatura foliar teve seus valores máximos observados a pleno sol e 30%, não se diferenciando entre eles, mas com 30% apresentando uma tendência a ter uma temperatura maior do que a pleno sol nas condições em que foram tomados os dados. Os demais tratamentos não se diferiram entre si (Tabela 13, Figura 17).

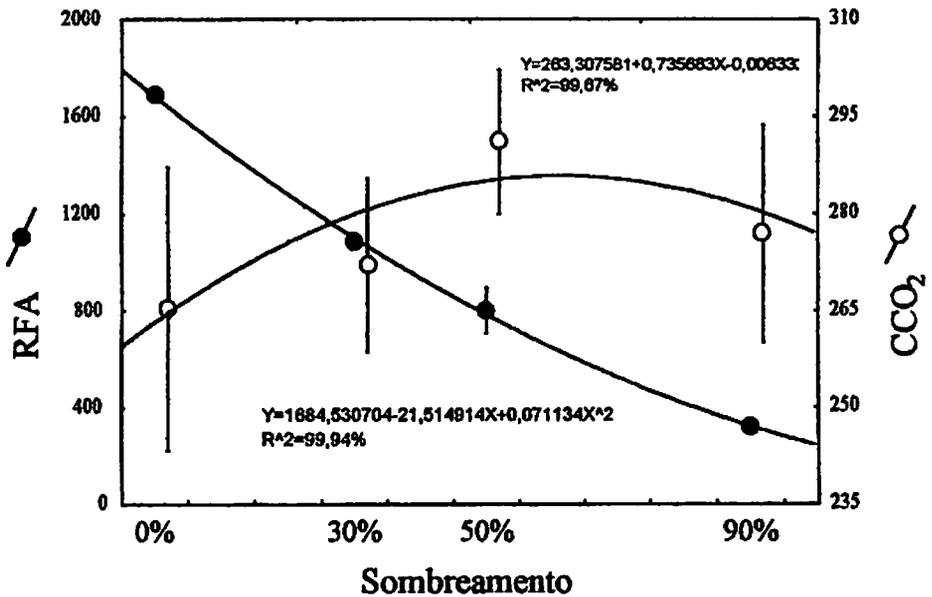


FIGURA 16: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de RFA e CCO₂ em função dos níveis de sombreamento e os respectivos ajustes obtidos. UFLA, Lavras – MG, 2001.

A transpiração das plantas, a condutância estomática e a fotossíntese líquida apresentaram o mesmo comportamento (Tabela 13, Figura 17,18), 50% como valor máximo apresentado, sendo este diferente estatisticamente dos demais que não se diferiram entre-si. Isso se explica devido ao fato de que em uma condição mais favorável à transpiração e um número de estômatos também razoável (como é o caso do tratamento de 50% de sombreamento) leva a uma maior condutância estomática, que permite então condições totalmente favoráveis a uma atividade fotossintética maior, o que nos levam novamente ao tratamento de 50% de sombreamento. Todas essas condições favoráveis levaram o mesmo a

apresentar um ganho significativo em todas as variáveis analisadas de crescimento apresentadas anteriormente.

TABELA 13: Valores médios de radiação fotossinteticamente ativa [RFA], transpiração [TRANS], temperatura foliar [TEMP], condutância estomática [CNDEST], fotossíntese líquida [FOTLQ] e concentração de CO₂ na câmara sub-estomática [CCO₂] em função dos níveis de sombreamento, ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras – MG, 2001.

Sombreamento	[RFA]		[TRANS]		[TEMP]	
0%	1689,13	a	3,09	b	32,09	ab
30%	1085,88	b	3,19	b	32,89	a
50%	802,13	c	4,03	a	31,27	bc
90%	321,50	d	2,48	b	29,90	bc
Media geral	974,66		3,19		31,54	
CV%	35,06		21,59		22,56	
Sombreamento	[CNDEST]		[FOTLQ]		[CCO ₂]	
0%	0,154	b	4,50	b	265,34	a
30%	0,156	b	4,90	b	272,06	a
50%	0,766	a	6,24	a	291,10	a
90%	0,169	b	4,60	b	276,92	a
Media geral	0,356		5,06		276,36	
CV%	15,36		30,65		24,56	

Onde: Valores precedidos de mesma letra, não diferem no nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Tais resultados são semelhantes aos citados na literatura por Carelli (1999) e Freitas (2000).

$$Y=32,252702+0,014791X-0,000468X^2$$

$$R^2=85,28\%$$

$$Y=2,996426+0,03548X-0,000446X^2$$

$$R^2=99,10\%$$

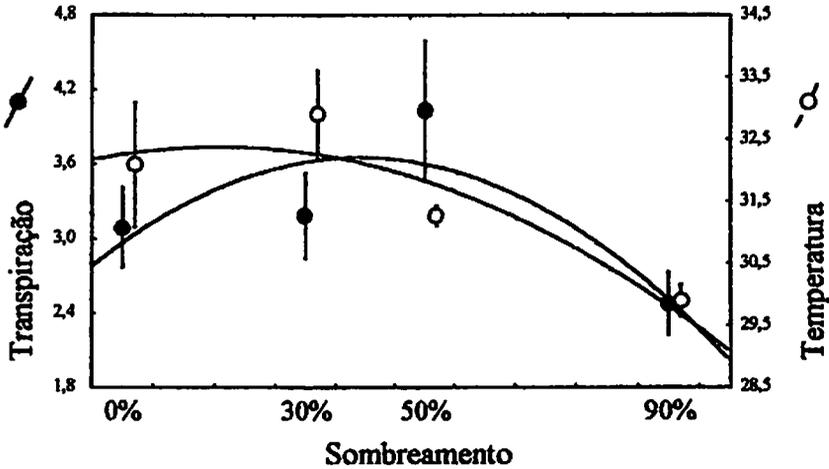


FIGURA 17: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de taxa de transpiração e temperatura da folha em função dos níveis de sombreamento e os respectivos ajustes obtidos. UFLA, Lavras – MG, 2001.

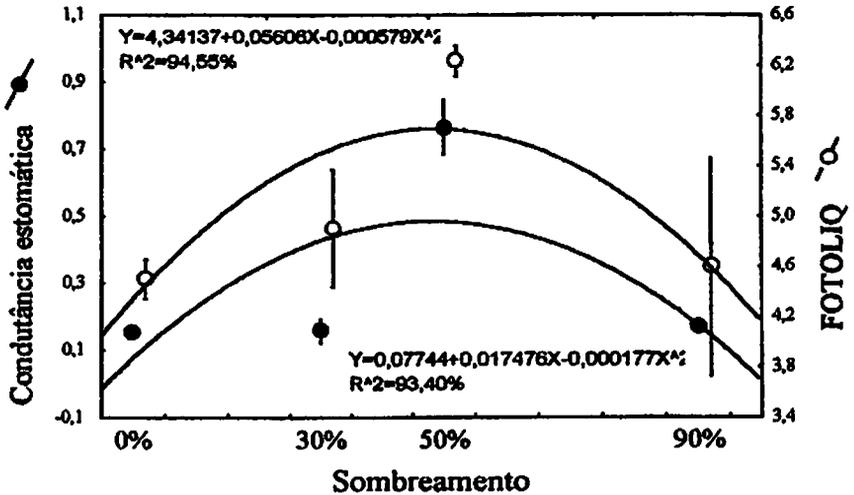


FIGURA 18: Valores médios e intervalo de confiança de 95% de condutância estomática e fotossíntese líquida em função dos níveis de sombreamento e os respectivos ajustes obtidos. UFLA, Lavras – MG, 2001.

4.2 - Experimento 2: Avaliação no campo das mudas formadas em diferentes tipos de sombreamento.

4.2.1 Análises de crescimento

Através das variáveis analisadas para o experimento 2, observa-se que todas elas apresentaram diferenças significativas (Tabela 14), o que mostra a existência do efeito do sombreamento durante a formação destas mudas. Mas, desta vez o efeito não se deve a uma influência direta da radiação sobre as mesmas, isso porque estas mudas estão agora em condições iguais de ambiente, e a única variação presente que se procurou manter foi a das condições em que essas mudas chegaram até ao momento do plantio. Condições estas que foram mostradas anteriormente nas análises de crescimento.

TABELA 14: Quadro de análise de variância e respectivos níveis de significância para as variáveis: altura [ALT], diâmetro [DIAM], número de ramos plagiotrópicos [NRPLG], massa seca de parte aérea [PSPA], massa seca de raiz [PSR] taxa de crescimento relativo de massa seca de parte aérea [TCRPSPA], taxa de crescimento relativo de massa seca de raiz [TCRPSR] de mudas de cafeeiro. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Variáveis	G.L.	QM		F	P
		Efeito	Erro		
[ALT]	(3;23)	166,22	11,15	14,90	**
[DIAM]	(3;23)	5,78	0,63	9,04	**
[NRPLG]	(3;23)	13,41	1,34	9,96	**
[PSPA]	(3;23)	224,91	22,22	10,11	**
[PSR]	(3;23)	97,99	7,23	13,54	**
[TCRPSPA]	(3;23)	0,000013	0,000002	5,713	**
[TCRPSR]	(3;23)	0,000019	0,000002	10,025	**

Onde: n.s. - não significativo ($p \geq 0,05$); ** - significativo ($p < 0,01$).

As variáveis altura e número de ramos plagiotrópicos apresentaram uma mesma tendência de comportamento. Para estas variáveis, o valor máximo se deu para os tratamentos de 50% e 90% de sombreamento, sendo que este primeiro apresentou uma tendência a ser superior. Para os outros tratamentos, não houve diferença entre eles com o tratamento 30%, apresentando também uma tendência a ser superior ao tratamento a pleno sol e esses dois apresentaram diferença significativa para com 50% e 90%; (Tabela 15, Figura 19, 21).

TABELA 15: Valores médios de altura [ALT] e diâmetro da planta [DIAM], nº de ramos plagiotropicos [NRPLAG], peso da porção aérea [PSPA], da porção radicular [PSR], taxa de crescimento relativo de parte aérea [TCRPSPA] e raiz [TCRPSR] em função dos tratamentos de radiação solar por ocasião da formação das mudas de cafeeiro sendo ordenados pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). UFLA, Lavras - MG, 2001.

Sombreamento	[ALT]		[DIAM]		[NRPLAG]	
0%	27,20	b	7,21	bc	7,38	b
30%	29,19	b	6,93	c	8,11	b
50%	37,39	a	9,01	a	11,11	a
90%	37,00	a	8,38	ab	10,44	a
Media Geral	32,69		7,88		9,01	
CV %	10,21		10,14		12,87	

Sombreamento	[PSPA]		[PSR]		[TCRPSPA]		[TCRPSR]	
0%	11,34	c	8,68	c	0,017	b	0,02	b
30%	16,55	bc	11,99	bc	0,0179	b	0,025	b
50%	24,76	a	17,79	a	0,019	ab	0,026	b
90%	22,82	ab	15,75	ab	0,02	a	0,029	a
Media Geral	18,87		13,55		0,018		0,026	
CV %	24,98		19,84		7,98		5,23	

Onde: Valores precedidos de mesma letra, não diferem no nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Para a variável diâmetro de caule, observou-se que o tratamento 50% foi superior, não se diferenciando de 90% de sombreamento. Este e o tratamento pleno sol não se diferiram entre si e o tratamento 30% de sombreamento foi o que apresentou menor valor sem se diferir de pleno sol; (Tabela 15, Figura 19).

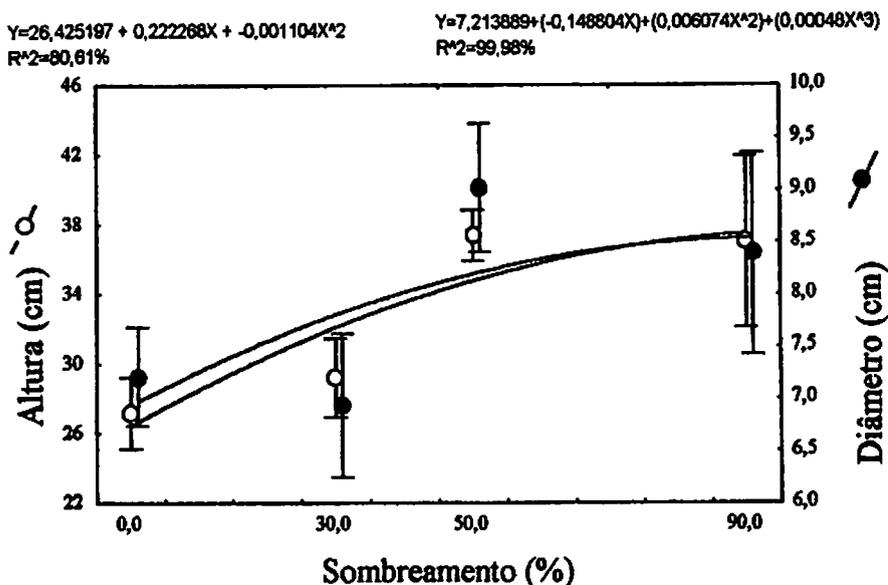


FIGURA 19: Valores médios e ajustes obtidos para altura de plantas e diâmetro de caule. UFLA, Lavras – MG, 2001.

As variáveis massa de matéria seca de parte aérea e raiz apresentaram uma mesma tendência. O tratamento superior foi o de 50% de sombreamento seguido de 90% e este não se diferiu de 30%, que apresentou tendência superior ao tratamento pleno sol onde foi observado o menor dos valores; (Tabela 15, Figura 20).

A taxa de crescimento relativo, apresentada pela parte aérea, teve seu valor de ganho diário no tratamentos de 90% de sombreamento e de 50% de sombreamento. Estes dois tratamentos apresentaram valores superior aos demais tratamentos 30% de sombreamento e pleno sol que não se diferiram entre si ; Tabela 15.

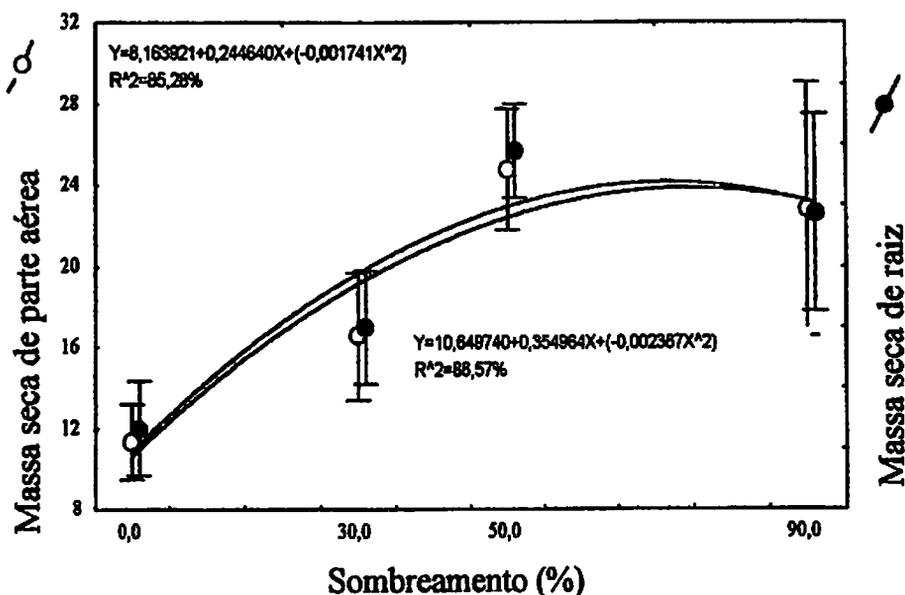


FIGURA 20: Valores médios e ajustes obtidos para massa seca de parte aérea e raiz. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Quanto à taxa de crescimento relativo da raiz, o tratamento que teve maior ganho diário foi o de 90%, mas este se diferiu dos demais, que não se diferiram entre-si; Tabela 15.

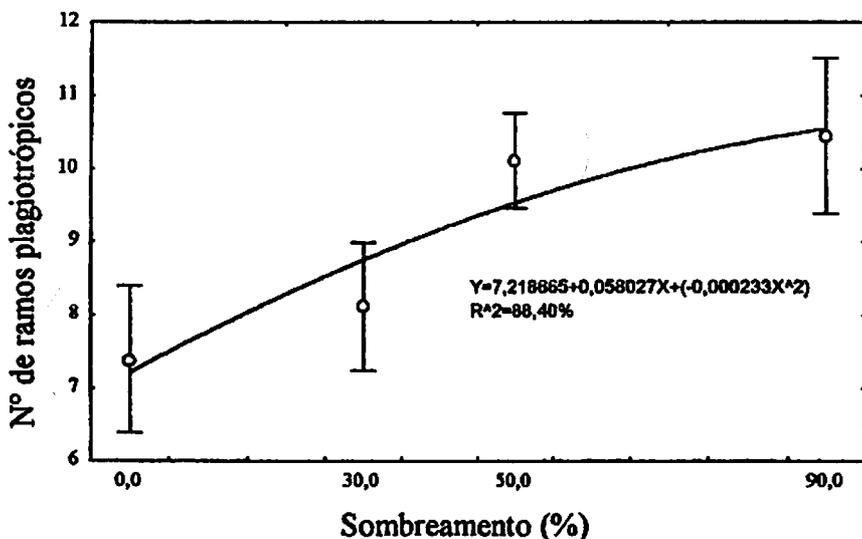


FIGURA 21: Valores médios e ajustes obtidos para número de ramos plagiotropicos, massa seca de parte aérea e raiz. UFLA, Lavras – MG, 2001.

Esses resultados mostraram que as mudas de cafeeiro desenvolvidas a 50% de radiação, por terem um desenvolvimento maior na fase de viveiro, oferecem uma maior vantagem por ocasião do plantio, como foi observado no experimento 2. Os valores do tratamento 50% de radiação com relação a mudas formadas a pleno sol, tem uma diferença de cerca de 37% a mais na variável altura, 25% a mais na variável diâmetro, 50% a mais na variável número de pares de folhas e número de ramos plagiotrópicos. E por fim, de praticamente o dobro (mais de 100%) nas variáveis massa seca de parte aérea e raiz.

4.3 Considerações Finais

A produção de mudas a pleno sol é uma técnica já empregada por alguns produtores e viveiristas comerciais, que procuram dessa maneira adaptar a muda às condições de campo que a mesma irá encontrar. Essas adaptações propostas são, principalmente o maior desenvolvimento do sistema radicular, que irá ajudar nos veranicos que podem acontecer depois do plantio, e a adaptação ao sol direto desde a germinação da muda, mas ainda existem problemas com relação a essa técnica: as mudas ficam sujeitas a chuvas fortes e de granizo, assim como a ventos fortes; sua irrigação torna-se mais frequente e com o aumento da mesma aumenta também seu custo. Esse problema é agravado onde a falta d'água existe, a germinação é prejudicada quando a umidade não é mantida no seu ideal e existe uma queima na alça catiledonar no estágio de joelho que dependendo da incidência, pode matar a planta.

O que foi provado com esse trabalho é que mudas de cafeeiro têm suas condições melhores de desenvolvimento quando formadas à meia sombra nas condições de manejo que hoje se empregam. Já a produção de mudas a pleno sol só será viável quando essas condições de manejo forem alteradas de forma a propiciar a elas condições de desenvolvimento equivalentes ou superiores às atuais.

5 CONCLUSÕES

O melhor tipo de sombreamento para formação de mudas de cafeeiro é o de 50% seguido de 90% de sombreamento, 30% e por último a pleno sol.

Mudas formadas no sombreamento de 50% foram as que apresentaram melhor crescimento simulando condições de campo e são as mais indicadas para o plantio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M. de; GAVILANES, M.L.; SANTOS, C.A. R. dos; ALMEIDA, L.P. Aspectos da anatomia foliar de mudas de *Guarea Guidonea* (L.) Sleumer sob diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa. *Daphne*, Belo Horizonte, v.8, n.4, p.66-70, 1998.
- ARMON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, Maryland, v.24, n.1, p.1-15, Jan./Mar. 1949.
- ATROCH, E.M.A.C.; CASTRO, E.M. de; SOARES, A.M.; ALVARENGA, A.A. Aspectos fisiológicos, anatômicos e biossíntese de flavonoides em plantas jovens de *Bauhinia forficata* Link, submetidas a diferentes níveis de irradiância. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v.11, n.1, p.30-31, jul. 1999. Suplemento.
- BJORKMAN, O.; HOLMGREN, P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shade habitats. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.16, n.4, p.889-915, 1963.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.28, p.355-377, 1977.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Normas climatológicas 1961-1990. Brasília, 1992. 84p.
- BUKATSH, F. Beneskenngem zeir doppelarbeiring astrablao-safranina. *Mikrokosmos*, Amsterdam, v.61, p.255, 1972.

- CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; MAGALHÃES, A.C. Redução de nitrato em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de luz e de nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, v.49, n.1, p.1-9, 1990.
- CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I.; TRIVELIN, P.C.O.; VOLTAN, R.B.Q. Discriminação isotópica do carbono e trocas gasosas em espécies de *coffea* crescidas em diferentes regimes de irradiância. *Revista Brasileira de Fisiologia vegetal*, Londrina, v.11, n.2, p.63-68, ago. 1999.
- CARVALHO, F. Estudo da atividade da redutase do nitrato em mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.) cultivadas a meia sombra e a pleno sol sob as formas nítricas a amoniacal de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. Resumos... Curitiba: IBC/GERCA, 1975. p.208-210.
- CASTRO, E.M. de; GAVILANES, M.L.; ALVARENGA, A.A. de; CASTRO, D.M. de; GAVILANES, T.O.T. Aspectos da anatomia foliar de Mudas de *Guarea Guidonea* (L.) Sleumer, sob diferentes níveis de sombreamento. *Daphne*, Belo Horizonte, v.8, n.4, p31-35, out. 1998.
- CHABOT, B.F.; JURIK, T.W.; CHABOT, J.F. Influence of instantaneous and integrated ligh-flux density on leaf anatomy and photossintesis. *Amarican Journal of Botany*, Melbourne, v.66, n.8, p.940-945, 1979.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG., 1999. 359p.

- CORDEIRO, A.T.; RENA, A.B.; ALVES, J.D.; PEREIRA, A.A.** Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens e adultas de café (*Coffea arabica* L.) na luz e na obscuridade. In: CONGRESSO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. Anais... Londrina: IBC/GERCA, 1984. p.77-79.
- DEVLIN, R.M.; WITHAM, F.H.** Plant physiology. 4.ed. Belmont: Wadsworth, 1983. p.222-243.
- ENGEL, V.L.** Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia. Piracicaba: ESALQ, 1989. 202p. (Tese - Mestrado em Ciências Florestais).
- FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; VEJA, J.; MAGALHÃES, A.C.** Nitrogen and irradiance levels affecting photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). *Journal of Horticulture Science*, Ashford, v.69, n.1, p.161-169, Jan. 1994.
- FALCO, L.** Fontes de doses de matéria orgânica na produção de mudas e na implantação de lavouras cafeeiras. Lavras: UFLA, 1999. 67p. (Tese - Mestrado em Agronomia).
- FERREIRA, M. das G.R.** Efeito do sombreamento na produção de mudas de quatro espécies florestais nativas. Viçosa: UFV, 1977. 42p. (Tese - Mestrado em Ciências Florestais).
- FREITAS, R.B. de.** Avaliações ecofisiológicas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) em diferentes sistemas de cultivo. Lavras: UFLA, 2000. 57p. (Tese - Mestrado em Fisiologia Vegetal).

- INOUE, M.T. Bases fisiológicas para a silvicultura de espécies nativas. Curitiba: FUPEF, 1983. p.1-18.**
- JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. New York: McGraw-Hill, 1940. 523p.**
- JURIK, T.W.; CHABOT, J.F.; CHABOT, B.F. Ontogeny of photosynthetic performance in *Fragaria virginiana* Nuder. changing light regimes. *Plant Physiology, Maryland*, v.63, n.3, p.542-547, 1979.**
- KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T. Physiology of wood plants. New York: Academic Press, 1979. 811p.**
- AKUMOR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.; Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture, Cambridge*, v.16, n.1, p.13-19, Jan. 1980.**
- LABORIAU, L.G.; OLIVEIRA, J.C.; SALGADO-LABORIAU, M.L. Transpiração de *Shizolobium parahyba* (Vell.). TOLEDO, J. Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro*, v.33, n.2, p.237-257, 1961.**
- MATIELLO, J.B.; BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M.; ARAÚJO, P.; VIDIGAL, J.E. Viveiro de mudas a pleno Sol na Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Curitiba. *Anais... Manhauçu: IBC*, 1997. p.47.**
- MENDES, A.N.G.; ABRAHÃO, E.J.; CAMBRAIA, J.F.; GUIMARÃES, J. Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no sul de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1995. p.76.**

- 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.
- NYGREN, M.; KELL OMAKI, S. Effect of shading on leaf structure and photosynthesis in young birches, *Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.7, n.2, p.119-132, 1983/1984.
- SALISBUR, F.B.; ROSS, C.W. *Plant physiology*. 4.ed. Belmont: Wadsworth, 1992. Chap. 12: Photosynthesis: environment and agricultural Aspects, p.249-265.
- SANTOS, S.H.M. dos; KISHI, I.A.S. Crescimento e concentração do teor de clorofila em plantas jovens de Mogno (*Swietenia macrophylla* King) em função das diferentes condições de sombreamento. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, v.11, p.17-18, jul. 1999. Suplemento.
- SASS, J. *Botanical microtechnique*. Iowa: Iowa College Press, 1951. 228p.
- SUN, O.J.; SWEET, G.B.; WHITEHEAD, D.; BUCHAN, G.D. Physiological responses to water stress and waterlogging in *Nothofagus* species. *Tree Physiology*, Victoria, v.15, n.10, p.629-638, Oct. 1995.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 2.ed. Califórnia, 1998. p.155-243.

TINOCO, C.D.; VASQUEZ-YANES, Diferencias en poblaciones de Piper hispidum bajos condiciones de luz contrastante en una selva alta perenifolia. In: GOMEZ-POMPA, A.; AMO, S.R. del. (eds). Investigaciones sobre la regeneracion de selva alta en Vera Cruz, México. México: Editorial Alhambra Mexicana, 1985. Tomo II, p.267-281.

WHATLEY, F.H.; WHATLEY, F.R. A luz e a vida das plantas. São Paulo: EPU-EDUSP, 1982. 101p. (Temas de biologia, v.30)